UNIVERSIDAD PABLO DE OLAVIDE SEVILLA

Revista de Métodos Cuantitativos para la Economía y la Empresa

Journal of Quantitative Methods for Economics and Business Administration

ISSN: 1886-516 X
D.L.: SE-2927-06

Universidad Pablo de Olavide, Sevilla

REVISTA DE MÉTODOS CUANTITATIVOS PARA LA ECONOMÍA Y LA EMPRESA

Journal of Quantitative Methods for Economics and Business Administration

Número 33. Junio de 2022.
ISSN: 1886-516X. D.L: SE-2927-06.
URL: https://www.upo.es/revistas/index.php/RevMetCuant/index

Editores:

Dr. Francisco Javier Blancas Peral
Universidad Pablo de Olavide
Ctra. de Utrera, km 1 - 41013
Sevilla (Spain)
Correo-e: fjblaper@upo.es

Dra. Macarena Lozano Oyola
Universidad Pablo de Olavide
Ctra. de Utrera, km 1 - 41013
Sevilla (Spain)
Correo-e: mlozoyo@upo.es

Comité Editorial:

Dr. S. Ejaz Ahmed, University of Windsor, Ontario (Canadá)
Dr. Adam P. Balcerzak, Nicolaus Copernicus University, Toruń (Polonia)
Dr. Carlos A. Coello Coello, CINVESTAV-IPN, México D.F. (México)
Dr. Ignacio Contreras Rubio, Universidad Pablo de Olavide, Sevilla (España)
Dra. Manuela Coromaldi, University of Social Sciences UNISU, Roma (Italia)
Dr. Miguel Ángel Hinojosa Ramos, Universidad Pablo de Olavide, Sevilla (España)
Dr. Matías Irigoyen Testa, Universidad Nacional del Sur, Buenos Aires (Argentina)
Dr. M. Kazim Khan, Kent State University, Ohio (EE.UU.)
Dr. Manuel Laguna, University of Colorado at Boulder, Colorado (EE.UU.)
Dra. María Amparo León Sánchez, Universidad de Pinar del Río (Cuba)
Dr. Jesús López-Rodríguez, Universidad de A Coruña, (España)
Dr. Cecilio Mar Molinero, University of Kent, Canterbury (Reino Unido)
Dra. Ana M. Martín Caraballo, Universidad Pablo de Olavide, Sevilla (España)
Dra. Mª Carmen Melgar Hiraldo, Universidad Pablo de Olavide, Sevilla (España)
Dr. Gábor Nagy, University of Kent, Canterbury (Reino Unido)
Dr. José Antonio Ordaz Sanz, Universidad Pablo de Olavide, Sevilla (España)
Dr. Andrés Rodríguez-Pose, London School of Economics, Londres (Reino Unido)
Dr. José Manuel Rueda Cantuche, IPTS-DG J.R.Centre-European Commission
Dra. Mariagrazia Squicciarini, OECD, París (Francia)
Dra. Mariangela Zoli, Università degli Studi di Roma 'Tor Vergata', Roma (Italia)

REVISTA DE MÉTODOS CUANTITATIVOS PARA LA ECONOMÍA Y LA EMPRESA (33). Páginas 3-13.
Junio de 2022. ISSN: 1886-516X. D.L: SE-2927-06.
www.upo.es/revistas/index.php/RevMetCuant/article/view/5556

Short-term impact of COVID-19 on financial system in a dollarized economy

CAMINO-MOGRO, SEGUNDO
Universidad Espíritu Santo (Ecuador)
Correo electrónico: scaminom@uees.edu.ec

ABSTRACT

This paper analyzes the short-term impact of the lockdown policies implemented to stop the spread of the COVID-19 on the Ecuadorian financial system. We use a regression discontinuity in time (RDiT) design jointly with official data. Results show an overall decrease in total deposits (-3.4%) as well as in credits targeted to private sector (-0.60%). In addition, we find heterogeneous results across the different types of credits and deposits being the most affected those related to public institutions.

Keywords: COVID-19, lockdown, financial system, regression discontinuity, Ecuador.
JEL classification: G21; G51; H12.
MSC2010: 91B82; 91B84.

Artículo recibido el 6 de enero de 2021 y aceptado el 1 de julio de 2021.

Impacto a corto plazo del COVID-19 en el sistema financiero en una economía dolarizada

RESUMEN

Este trabajo analiza el impacto a corto plazo de las políticas de bloqueo implementadas para frenar la propagación del COVID-19 en el sistema financiero ecuatoriano. Se utiliza un diseño de regresión discontinua en el tiempo (RDiT) junto con datos oficiales. Los resultados muestran una disminución generalizada de los depósitos totales (-3.4%) así como de los créditos dirigidos al sector privado (-0.60%). Además, se encuentran resultados heterogéneos entre los diferentes tipos de créditos y depósitos siendo los más afectados los relacionados con las instituciones públicas.

Palabras clave: COVID-19, Bloqueo, sistema financiero, Regresión Discontinua, Ecuador
Clasificación JEL: G21; G51; H12.
MSC2010: 91B82; 91B84.

1. Introduction

The arrival of COVID-19 pandemic caused a general crisis in the world economy. Goodell (2020) states that, in the context of the economic crisis, the banking system, due to late payment of loans and the possibility of a bank run, is vulnerable. On the other hand, Giese and Haldane (2020) assure that banking could become the solution. After past crises, the reconstruction of Basel III established regulatory minimums of a prudential nature that cover liquidity and leverage (Basel III is an internationally agreed set of measures developed by the Basel Committee on Banking Supervision in response to the financial crisis of 2007-09. The measures aim to strengthen the regulation, supervision and risk management of banks.). The establishment of a "cushion" makes it possible to avoid a financial crisis during a time of economic stress by satisfying the needs of the financial system. In other words, over the years, the financial system has been reformed in order to withstand future crises. However, COVID-19 is considered the strongest crisis since 1924. The problem caused by COVID-19 arises because, in order to stop the spread of the virus, a state of global emergency was declared, urging nations to close their borders and establish mobility restriction on their territory. Atalan (2020) mentions that around 90% of the world applied social isolation, and this generated destruction in the economy. As a result, consumption was reduced, production fell, unemployment increased, and the supply chain was affected, all this disturbed the financial markets due to the need for financing from the private sector, or even due to the risk and fragility that is looming faced with an economic contraction of this magnitude (Sarkis, 2020).

However, financial systems, in general, have reacted quite well to this shock. Giese and Haldane (2020) affirm that, although there has been a default on payments to banks, their resistance is greater, avoiding a collapse similar to that of the 2008 crisis, rejecting the magnitude of the damage of COVID-19 mentioned by Goodell (2020). These authors affirm that a greater resilience and availability of credit can be seen on the part of borrowers and that the pandemic has increased the request for loans from firms and households, being a support, together with the government, for the economy in general. In developing countries, the story may be a bit different as higher deposit turnover is generated, leading to higher withdrawals. While, Giese and Haldane (2020) analyze the relevance of bank loans in generating liquidity, Goodell refers to the people who are at the bottom of the pyramid, as instruments that have no means to guarantee liquidity in the economy.

In this path, banks in developing economies should follow a countercyclical policy in granting credit; nevertheless, there is a reluctance of banks to grant loans during a crisis, affecting the business sector (Bastos & Pindado, 2013) reducing liquidity (Kremp & Sevestre, 2013). This could aggravate the economic and social problems of the countries since in times of crisis, companies faced with a credit restriction, withdrawal of deposits and that have a large number of accounts receivable postpone their payments to suppliers to avoid the risk illiquidity, that is, they delay payment by spreading credit contagion in the supply chain (Bastos & Pindado, 2013).

In this paper, we therefore analyze the short-term the impact of the lockdown policies implemented to stop the spread of the COVID-19 on Ecuadorian financial system. Ecuador is a small open economy dollarized since 2000 and with strong bank regulatory system since the dollarization. The rapid spread of the virus in Ecuador and the official declaration of the WHO as a pandemic led the Government of this country to take confinement (lockdown) measures that were decreed and implemented on March 16, 2020. This lockdown decree restricted the mobility and face-to-face work hours in non-essential economic sectors (Camino-Mogro, 2020). For this, we exploit the exogenous variation coming from the COVID-19 pandemic and its lockdown policy in Ecuador and perform a regression discontinuity in time (RDiT) design as my identification strategy. Furthermore, we analyze the impact of the lockdown policy on several outcomes of banks deposits and credits. we use an official data set between December, 2019 to June, 2020 of all types of deposits and credits in Ecuador.

The paper contributes to the growing literature on crisis, shocks, business cycle and impact on deposits and credits in developing economies. In particular, the contribution relies on how the COVID-19 pandemic lockdown policy could affect financial system in a strong bank regulated system for the

first time (to our knowledge). Studies on the impact of the COVID-19 pandemic on financial system focused on stock markets (see, for example: Albulescu, 2021; Engelhardt, Krause, Neukirchen, & Posch, 2020; Zaremba, Kizys, Aharon, & Demir, 2020; Zhang, Hu, & Ji, 2020). However, in this paper we exploit the exogenous characteristic of the lockdown policy induced by the COVID-19 to assess its impact on financial system. This analysis is novelty since is the first that uses a RDiT design which is an impact evaluation policy strategy.

The reminder of the paper is organized as follows. In Section 2, the data and empirical strategy is shown. Section 3 presents the main results. Finally, Section 4 concludes.

2. Data and empirical strategy

To analyze the impact of COVID-19 lockdown policy on Ecuadorian financial system, we use weekly data for deposits and credits over the period from December 2019 to June 2020 (obviously, having daily data would be the best; however, this is the most desegregated period that exists in Ecuador). This period of window allows us to employ a regression discontinuity in time (RDiT) design using the president's order effective lockdown on March 16, 2020. This gives 15 weeks on each side of the cutoff date on the base line model. We use this time horizon because it allows us to get a balance pre-post period of the president's order effective lockdown, but also we do not use a large time horizon (post periods) because after June 2020 the lockdown was relaxed in many provinces and this issue could disturb the impact of the lockdown on our outcomes of interest.

The database is publicly available at the Banco Central del Ecuador (BCE). In particular, we analyze six different outcomes within each category: for deposits, we use total, firm´s, households, GADS (this is a level of desegregation of decentralized governments, such as municipalities, among others), fixed-term and other deposits; for credits, we use credits to private sector, central government, GADS, intern credit, credits from private banks and public banks, by week, before and after the COVID-19 lockdown in Ecuador. Finally, we use 30 weeks (observations) in the analysis. All variables are measured at national level.

To assess the direct impact of the COVID-19 lockdown on deposits and credits, we design a research strategy that exploits the completely exogenous effect of COVID-19 pandemic that induces a lockdown (and resulting cessation of activities) on March 16, 2020 in Ecuador. We rely on a regression discontinuity in time (RDiT) approach as there is high frequent data, and observe enough data points around the cutoff (Anderson, 2014; Auffhammer & Kellogg, 2011). The RDiT is a quasi-natural experimental econometric technique, but also is a special case of the classical regression discontinuity design (RDD), where time is the so-called running or forcing variable, this allow us to rigorously compare the impacts of the lockdown on deposits and credits in a time window around the lockdown date.

Similar to Barnes, Beland, Huh, and Kim (2020) and Dang and Trinh (2021) where the running variable is the time of COVID-19 lockdown, but assessing other outcomes; the empirical strategy is to leverage the sharp discontinuities of deposits and credits when the lockdown goes into effect. For this, Cattaneo, Idrobo, and Titiunik (2020) argues that the motivation of the RDD approach is that within a relatively narrow window of time around an event (in this case the lockdown), the unobserved factors influencing the dependent variable are likely similar so that observations before the event provide a counterfactual group that can be compared with observations after the same event. To perform this, we formally estimate the treatment effect as the outcomes variations in Ecuadorian deposits and credits around the lockdown date:

$$\tau_{RD} = \lim_{s \downarrow 0} E[y|w = 0 + \varepsilon] - \lim_{s \uparrow 0} E[y|w = 0 + \varepsilon] \quad [1]$$

where, w is the number of weeks before and after the official lockdown date. We subsequently employ an approach according to Imbens and Lemieux (2008), where one estimates the following model when adopting a RDiT approach, using March 16, 2020 as the cutoff date when the president decrees the lockdown and restriction the mobility and face-to-face work day.

$$y_w = \beta_0 + \beta_1 PostLockdown_w + \beta_2 Weeks_w + \beta_3 Weeks_w * PostLockdown_w + W_m + \varepsilon_w \quad [2]$$

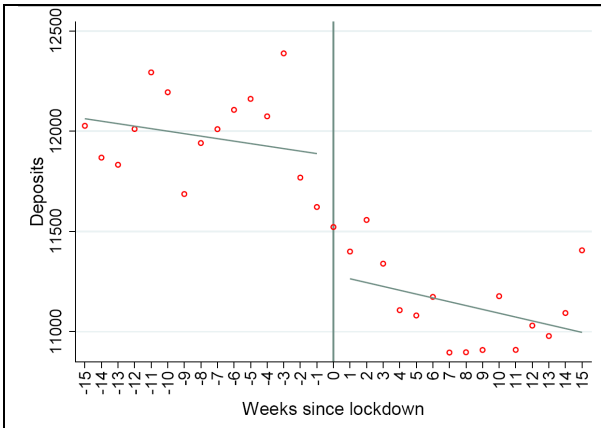
where, y_w reflects the respective outcome variable (deposits and credits) at week w. The parameter of interest is β_1 the (local average treatment) impacts of the lockdown on y_w, for which we obtain an unbiased estimate under the RD assumption that s_w does not change discontinuously at the policy introduction (Anderson, 2014); the treatment variable is *PostLockdown* which is a dummy variable that is equal to one for all weeks after the lockdown on March 16 and zero for all preceding weeks. The running variable is $Weeks_w$ which represents the number of weeks since the official lockdown date took place; β_2 is a general, linear time trend for the entire observation period. $Weeks_w * PostLockdown_w$ is an interaction between $Weeks_w$ and $PostLockdown_w$ that should absorb everything that may produce changes in the outcome y_w around the cutoff; β_3 indicates a potential change in the time trend for the post-intervention period. Finally, W_m is a week-of-the-month fixed effects and ε_w is the error term. We report standard errors robust to heteroskedasticity, and we use a triangular kernel, and a linear polynomial approximation for the estimation procedure.

Before presenting the main results, we show graphical evidence of the effect of the COVID-19 lockdown on six different outcomes of deposits and credits in Ecuador during the period from December 2019 to June 2020. We run a data-deposits and credits RDiT of the number of the total amount of deposits and credits against the number of weeks around the lockdown date.

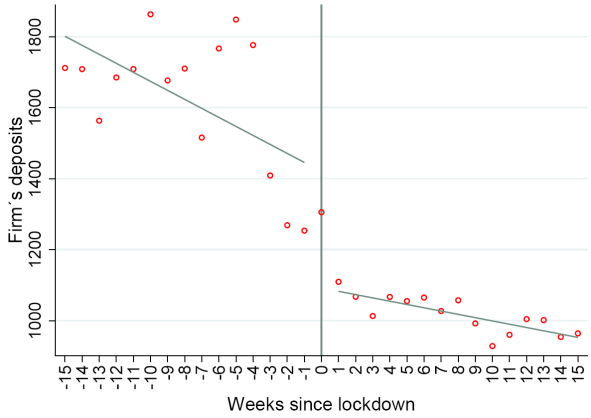
We plot in Figure 1 the results of the RDiT for six outcomes of deposits, which shows that deposits in Ecuador decrease a week after the lockdown date in Ecuador. In panel 2(a) it is shown that total deposits decrease immediately after the lockdown but it does not recovery after 15 weeks; something similar occurs with firm´s deposits (panel 2(b)), GADS deposits (panel 2(d)). On the other hand, we show in panel 2(c) that households deposits decrease a week after the lockdown policy, but starts recovery immediately, this pattern is similar with fixed-term deposits (panel 2(e)); for other deposits (panel 2(f)) no clear discontinuity is seen.

Finally, in Figure 2 we plot the results of the RDiT for six outcomes of credits which shows that credits in Ecuador decreases a week after the lockdown date in Ecuador, with the exception of credits to central government (panel 3(c)) and credits from public banks (panel 3(f)). In panel 3(a) it is shown that total credits to private sector decrease immediately after the lockdown but it does not recover after 15 weeks; something similar occurs with credits from private banks (panel 3(e)); nevertheless, for credits to GADS (panel 3(d)) immediately recover after a week of the lockdown. Finally, for intern credits (panel 3(b)) no clear discontinuity is seen. Overall, the two figures show that the amount of deposits and credits in the Ecuadorian financial system decrease after the COVID-19 lockdown policy; however, it seems that the negative effect is small. This evidence is particular interesting because it suggests that the impacts of the lockdown on the outcomes analyzed here may exist only in the short-run.

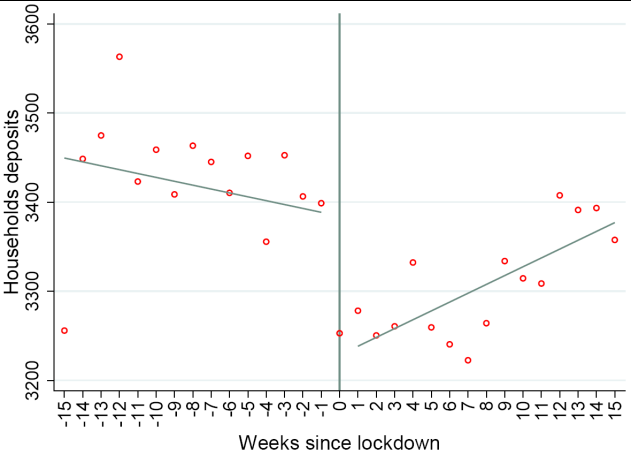
Figure 1. Regression discontinuity in time plots for total deposits.



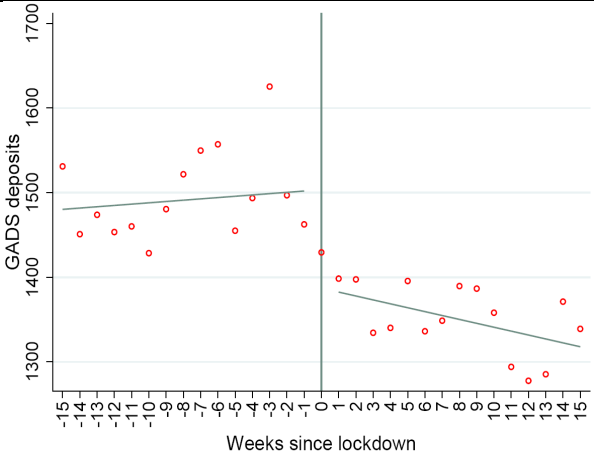
(a) Total deposits



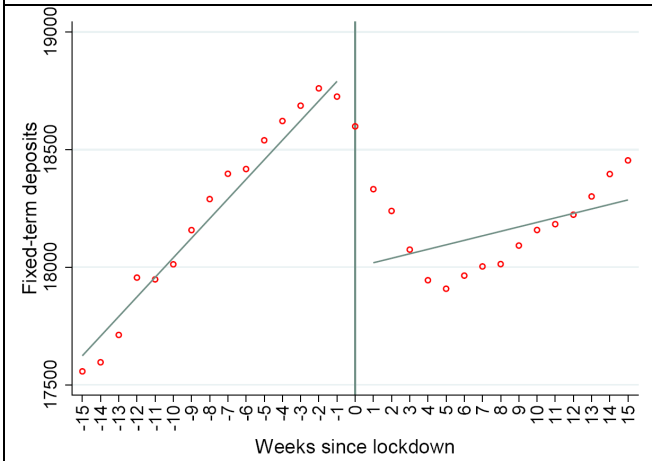
(b) Total deposits from firms



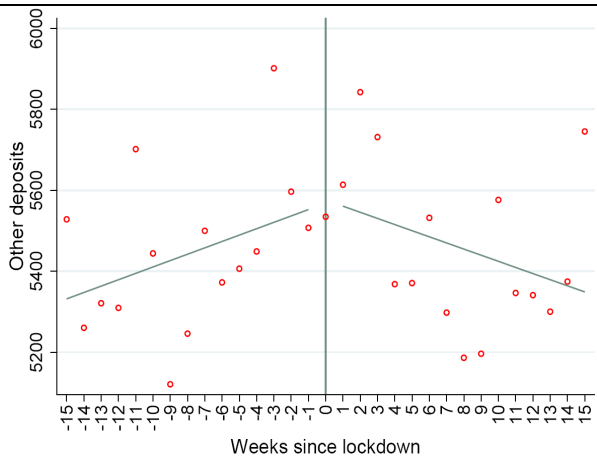
(c) Total deposits from households



(d) Total deposits from GADS



(e) Total fixed-term deposits

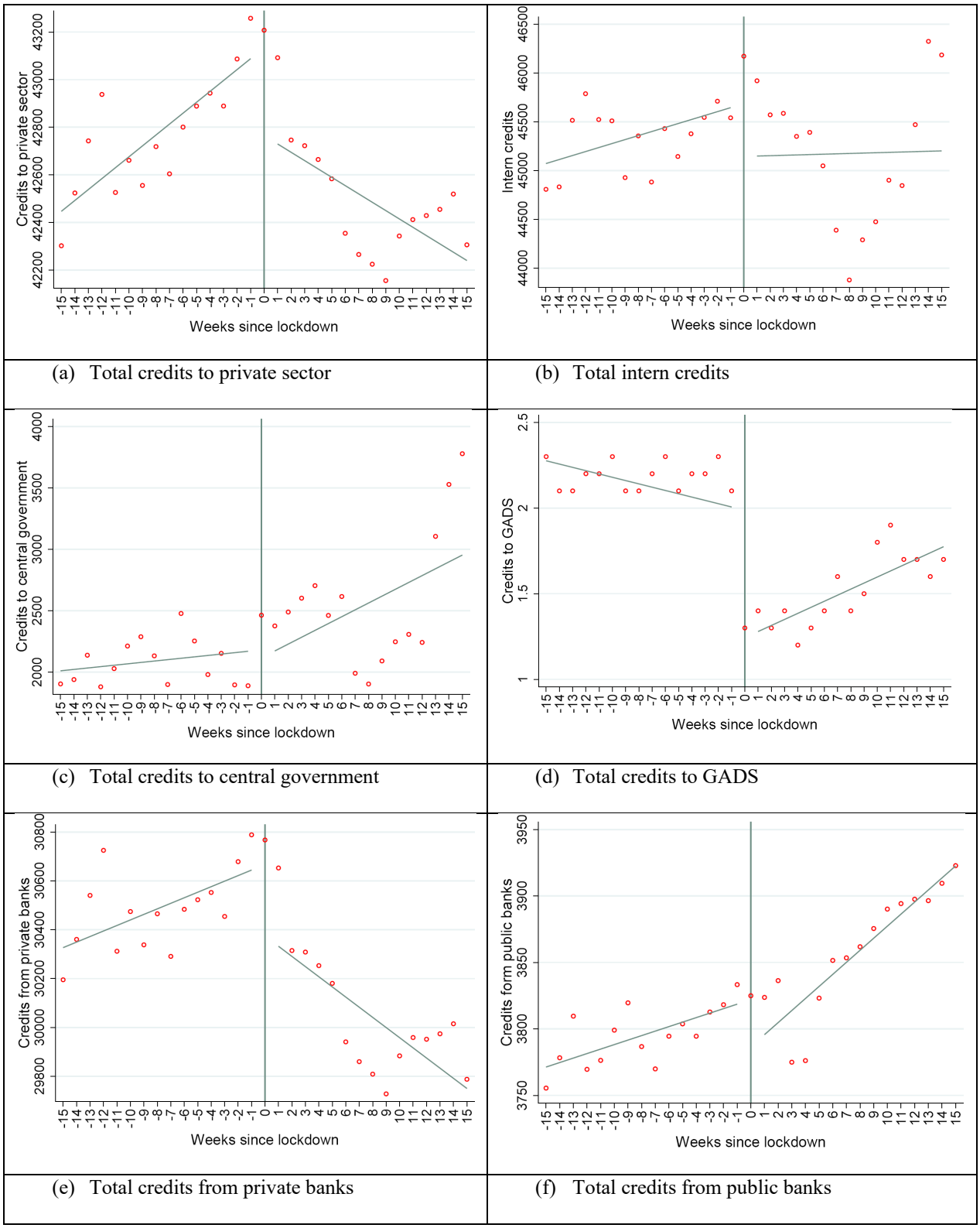


(f) Total other deposits

Note: Panels show RDiT plots with fitted lines corresponding to Equation (2) for various types of deposits.

Source: Banco Central del Ecuador (BCE).

Figure 2. Regression discontinuity in time plots for total credits.



(a) Total credits to private sector

(b) Total intern credits

(c) Total credits to central government

(d) Total credits to GADS

(e) Total credits from private banks

(f) Total credits from public banks

Note: Panels show RDiT plots with fitted lines corresponding to Equation (2) for various types of credits.

Source: Banco Central del Ecuador (BCE).

3. Main results

Table 1 shows the main results using equation (2) for six different outcomes of deposits and credits in Ecuador in a RDiT design. In Panel A, we present the mean effect of COVID-19 lockdown on six different outcomes of deposits, using a bandwidth of +/- 15 weeks; this allows us to analyze the mean impact of this policy around four months of the induced lockdown. The results suggest that the COVID-19 lockdown has a strong statistically significant impact on different measures of deposits at 5 and 1 percent level, except for the category "other deposits" where we do not find any statistically significant results at standard levels. In particular, we find that the induced lockdown policy is linked to a decrease of total deposits of -3.4% (=(-408.122/11998.99)*100) after 15 weeks of the lockdown decree. The largest mean negative I mpact of this policy is found in firm´s deposits (-13%) and GADS deposits (-8.69%), a plausible explanation for this may be that the mandatory confinement of March 16, 2020 immediately affected firms because many of the economic activities were not authorized to continue operating and only those declared as essential activities could continue to operate with the respective restrictions of mobility, which reduced firm sales and consequently deposits in the financial system. Additionally, many firms laid off staff which also might have led to a decrease in household mean deposits (in this case a decrease of -3.30%). Finally, fixed-term deposits had also a negative impact of -3.9% in relative terms.

In Panel B, we show the results of the mean impact of COVID-19 lockdown on six different outcomes of credits, using the same bandwidth as in the deposits estimates. We find that COVID-19 induced lockdown has a mean negative and significant impact in all the outcomes except for credits to central government, where there is a mean positive and significant impact (19.19%). The positive impact on "credit to the central government" is part of the loans received by multilateral organizations and the renegotiation of the external debt. While the mean negative impact of the lockdown on credit to GADS is again the largest (as in deposits) with a decrease of -34.75%, showing that the municipal governments could have had some type of resource needs that were not met during the first part of the pandemic, this could have happened because the pandemic was initially attended directly by the central government. Additionally, credits to the private sector and intern credit also suffered a negative impact as a result of the lockdown of 0.60% and 0.04%, respectively; this mean impact is small but significant, suggesting that, once again, the private sector has also been affected. Finally, credits from private and public banks were also negatively affected in -0.63% and 1.04% respectively, this points to that credits from the private banking sector were less affected than credits from the public banking sector (in relative terms) which is compatible with a certain vulnerability of the public financial system.

This evidence is in concordance with the literature of pandemics and the decline of financial systems that suggests that a pandemic-induced economic downturn will put pressure on banks' loan portfolios and can lead to a large withdrawal of deposits, particularly in poor and developing countries (see, for example: Beck, 2020; Gong, Jiang, & Lu, 2021; Lagoarde-Segot & Leoni, 2013; Leoni, 2013). However, Goodell (2020) argues that another question is whether COVID-19 should be regarded as a black swan, or an unforeseeable event with extreme consequences, similar to the answer of the author, our results suggest that seems to be "no". In specific, the results here show that the effect is smaller in credits compared to deposits, because the financial system was able to accommodate these liquidity demands due to the solvency that the banking system previously had. Li, Strahan and Zhang (2020) argue that the increase in liquidity demands was concentrated at the largest banks, who serve the largest pre crisis financial condition did.

Table 1. Effect of COVID-19 lockdown on financial system: Bandwidth +/- 15 weeks.

Panel A: Deposits

	Total deposits	Firms deposits	Households deposits	GADS deposits	Fixed-term deposits	Other deposits
$PostLockdown_t = 1$	-408.122**	-212.245***	-112.843**	-130.064***	-710.083***	47.035
	(173.463)	(75.355)	(40.644)	(31.228)	(95.327)	(138.481)
%-Change	-3.40	-13.01	-3.30	-8.69	-3.90	0.86
$Timetrend_t$	28.841*	46.113***	11.756***	-1.033	-71.273***	-27.995**
	(16.573)	(9.857)	(4.149)	(3.418)	(8.318)	(10.972)
$Post * trend_t$	-73.273***	-57.542***	-4.222	-2.296	67.454***	-9.216
	(22.026)	(10.867)	(5.189)	(4.431)	(13.704)	(18.285)
Mean before lockdown	11998.99	1630.96	3427.8	1496	18224.78	5444.25
R squared	0.833	0.850	0.765	0.806	0.853	0.471

Panel B: Credits

	Private sector	Intern credits	Credits to C. Gov.	Credits to GADS	Credits from private banks	Credits from public banks
$PostLockdown_t = 1$	-257.601**	19.636*	407.929**	-0.755***	-192.488*	-39.613*
	(105.757)	(216.171)	(151.790)	(0.165)	(104.570)	(21.968)
%-Change	-0.60	-0.04	19.19	-34.75	-0.63	-1.04
$Timetrend_t$	-53.931***	-54.284**	-0.393	0.032	-29.483***	-4.030**
	(9.669)	(25.179)	(13.999)	(0.021)	(9.329)	(1.427)
$Post * trend_t$	-9.479	-60.858	-20.043	0.011	-36.911**	13.027***
	(17.088)	(44.140)	(25.048)	(0.022)	(16.064)	(2.681)
Mean before lockdown	42762.56	45325.49	2072.11	2.18	30478.78	3794.78
R squared	0.835	0.545	0.352	0.826	0.850	0.675
Observations	29	29	29	29	29	29

Notes: Robust standard errors in parentheses. *$p < 0.1$, **$p < 0.05$, ***$p < 0.01$.
Running variable is number of weeks from the lockdown date. All regressions include week Fixed Effects.
Source: Own elaboration.

4. Conclusions

There is vast research studying how financial systems are affected by economic crises; nevertheless, there is still scarce literature that analyzes the impact of pandemics on deposits and credits. In this letter, we quantify the short-term mean impact of COVID-19 lockdown on six different outcomes of deposits and credits in the Ecuadorian financial system. For this, we exploit the completely exogenous source of variation provided by the COVID-19 lockdown on the outcomes by using a regression discontinuity in time (RDiT) design.

The empirical results reveal that the COVID-19 lockdown significantly decreases deposits and credits in Ecuador. In particular firm's deposits, credits to GADS and credits from public banks are those that are more affected. However, the effect is smaller in credits compared to deposits.

Our results are of important policy relevance. First, we show that lockdown policies have detrimental effects on deposits and credits, so policies or actions that restrict economic activities could negatively affects the financial system. This is not new for Ecuador, since for many times this country has suffered the so called "Paros" (strikes) that are people manifestation that stops economic activities.

In this point, recently, in October 2019 the indigenous people did a "Paro" that took place in Quito and many important cities, this Paro had important losses for economic activities and consequently for the financial system. In this sense, the government should make efforts to guarantee minimum levels of economic activities when mass mobilizations occur. Second, to boost deposits and credits in a pandemic scenario where policies are focused on reducing mobility, the government might incentivize the use of electronic channels in the banking system. For this, it is crucial to boost financial inclusion of poor and vulnerable people. Finally, and according to our second point, the government might encourage the use of electronic money.

This research has some limitations. In specific, our results should be discussed only as a short-term effect. Additionally, the study of Ecuador is a particular case of study because it is dollarized but with low levels of financial inclusion and use of electronic channels. More analysis of different countries should be conducted to get a big picture of the impact of lockdown policies on financial systems.

Acknowledgment

The author acknowledges funding from the Spanish Ministry of Economy and Competitiveness (project ECO2017-82445-R).
The views in this paper do not represent the Superintendencia de Compañías, Valores y Seguros and its authorities. The corresponding disclaimer applies. All errors are mine.

References

Albulescu, C.T. (2021). Covid-19 and the United States financial markets' volatility. *Finance Research Letters*, *38*, 101699. https://doi.org/10.1016/j.frl.2020.101699

Anderson, M. L. (2014). Subways, strikes, and slowdowns: The impacts of public transit on traffic congestion. *American Economic Review*, *104*(9), 276-396. https://doi.org/10.1257/aer.104.9.2763

Atalan, A. (2020). Is the lockdown important to prevent the covid-19 pandemic? Effects on psychology, environment and economy-perspective. *Annals of Medicine and Surgery,56*, 38-42. https://doi.org/10.1016/j.amsu.2020.06.010

Auffhammer, M., & Kellogg, R. (2011). Clearing the air? The effects of gasoline content regulation on air quality. *American Economic Review*, *101*(6), 2687-2722. https://doi.org/10.1257/aer.101.6.2687

Barnes, S. R., Beland, L.-P., Huh, J., & Kim, D. (2020). *The effect of covid-19 lockdown on mobility and traffic accidents: Evidence from Louisiana* (Working paper). GLO Discussion Paper. Retrieved from https://www.econstor.eu/handle/10419/222470

Bastos, R., & Pindado, J. (2013). Trade credit during a financial crisis: A panel data analysis. *Journal of Business Research*, *66*(5), 614-620. https://doi.org/10.1016/j.jbusres.2012.03.015

Beck, T. (2020). Finance in the times of coronavirus. *Economics in the Time of COVID-19*, 73-76.

Camino-Mogro, S. (2020). *Turbulence in startups: Effect of covid-19 lockdown on creation of new firms and its capital* (Working Paper). Retrieved from https://mpra.ub.uni-muenchen.de/104502/1/MPRA paper 104502.pdf

Cattaneo, M., Idrobo, N., & Titiunik, R. (2020). *A Practical Introduction to Regression Discontinuity Designs: Foundations* (Elements in Quantitative and Computational Methods for the Social Sciences). Cambridge: Cambridge University Press. https://doi.org/10.1017/9781108684606

Dang, H.-A., & Trinh, T.-A. (2021). Does the covid-19 lockdown improve global air quality? New cross-national evidence on its unintended consequences. *Journal of Environmental Economics and Management*, *105*, 102401. https://doi.org/10.1016/j.jeem.2020.102401

Engelhardt, N., Krause, M., Neukirchen, D., & Posch, P. (2020). What drives stocks during the corona-crash? News attention vs. rational expectation. *Sustainability*, *12* (12), 5014. https://doi.org/2071-1050/12/12/5014

Giese, J., & Haldane, A. (2020). Covid-19 and the financial system: a tale of two crises. *Oxford Review of Economic Policy*, *36*(1), S200-S214. https://doi.org/10.1093/oxrep/graa035

Gong, D., Jiang, T., & Lu, L. (2021). Pandemic and bank lending: Evidence from the 2009 H1N1 pandemic. *Finance Research Letters*, *39*, 101627. https://doi.org/10.1016/j.frl.2020.101627

Goodell, J. W. (2020). Covid-19 and finance: Agendas for future research. *Finance Research Letters*, *35*, 101512. https://doi.org/10.1016/j.frl.2020.101512

Imbens, G. W., & Lemieux, T. (2008). Regression discontinuity designs: A guide to practice. *Journal of Econometrics*, *142*(2), 615-635. https://doi.org/10.1016/j.jeconom.2007.05.001

Kremp, E., & Sevestre, P. (2013). Did the crisis induce credit rationing for french smes? *Journal of Banking & Finance*, *37*(10), 3757-3772. https://doi.org/10.1016/j.jbankfin.2013.05.028

Lagoarde-Segot, T., & Leoni, P. L. (2013). Pandemics of the poor and banking stability. *Journal of Banking & Finance*, *37*(11), 4574-4583. https://doi.org/10.1016/j.jbankfin.2013.04.004

Leoni, P. L. (2013). Hiv/aids and banking stability in developing countries. *Bulletin of Economic Research*, *65*(3), 225-237. https://doi.org/10.1111/j.1467-8586.2011.00401.x

Li, L., Strahan, P.E., & Zhang, S. (2020). Banks as lenders of first resort: Evidence from the covid-19 crisis. *The Review of Corporate Finance Studies*, *9*(3), 472-500. https://doi.org/10.1093/rcfs/cfaa009

Sarkis, J. (2020). Supply chain sustainability: learning from the covid-19 pandemic. *International Journal of Operations & Production Management*, *41*(1), 63-73. https://doi.org/10.1108/IJOPM-08-2020-0568

Zaremba, A., Kizys, R., Aharon, D.Y., & Demir, E. (2020). Infected markets: Novel coronavirus, government interventions and stock return volatility around the globe. *Finance Research Letters*, *35*, 101597. https://doi.org/10.1016/j.frl.2020.101597

Zhang, D., Hu, M., & Ji, Q. (2020). Financial markets under the global pandemic of covid-19. *Finance Research Letters*, *36*, 101528. https://doi.org/10.1016/j.frl.2020.101528

REVISTA DE MÉTODOS CUANTITATIVOS PARA LA ECONOMÍA Y LA EMPRESA (33). Páginas 14-28.
Junio de 2022. ISSN: 1886-516X. D.L: SE-2927-06.
www.upo.es/revistas/index.php/RevMetCuant/article/view/5217

Desempeño del número de empleos en tiempos de COVID-19 en dos estados mexicanos con distinta vocación económica

LAGUNAS PULS, SERGIO
Universidad del Caribe (México)
Correo electrónico: slagunas@ucaribe.edu.mx

DOMÍNGUEZ ESTRADA, JOSÉ FRANCISCO
Universidad del Caribe (México)
Correo electrónico: fdominguez@ucaribe.edu.mx

OROPEZA TAGLE, MIGUEL ÁNGEL
Universidad Autónoma de Aguascalientes (México)
Correo electrónico: maoropez@correo.uaa.mx

RESUMEN

El objetivo de este artículo es medir el desempeño del trabajo formal en dos estados de México con vocación económica distinta: Quintana Roo cuya actividad principal es el turismo y Aguascalientes con actividad principalmente industrial. El trabajo se inicia presentando el contexto laboral en ambos estados y posteriormente se describe la revisión de la literatura relacionada al desempeño de los trabajos formales en México y Latinoamérica. Con los datos oficiales de los trabajadores afiliados al IMSS de 1998 a 2019 se identifica el mejor ajuste; con los parámetros estadísticos obtenidos se analiza el comportamiento mensual del primer cuatrimestre del año 2020 con metodología clásica contrastada con metaanálisis. Los resultados permiten concluir que en periodos previos y durante el distanciamiento social, el número de afiliados al IMSS no solo se mantuvo en niveles convencionales, sino que en varios meses se incrementaron los trabajadores inscritos.

Palabras clave: trabajo formal, desempeño laboral, COVID-19.
Clasificación JEL: C13; C16; C46.
MSC2010: 62F10; 62F25; 33E20.

Artículo recibido el 5 de agosto de 2020 y aceptado el 10 de agosto de 2021.

Performance of the number of jobs in times of COVID-19 in two Mexican states with different economic vocation

ABSTRACT

The objective of this paper is to measure the performance of formal work in two states of Mexico with different economic vocation: Quintana Roo whose main activity is tourism and Aguascalientes with mainly industrial activity. The work begins by presenting the work context in both states, and later describes the review of literature related to the performance of formal work in Mexico and Latin America. With the official data of the workers affiliated to the IMSS from 1998 to 2019, the best adjustment is identified, with the statistical parameters obtained; the monthly behavior of the first quarter of 2020 is analyzed with classical methodology contrasted with meta-analysis. The results allow us to conclude that in previous periods and during social distancing, the number of IMSS members not only remained at conventional levels, but that in several months the number of registered workers increased.

Keywords: labor, formal work, COVID-19.
JEL classification: C13; C16; C46.
MSC2010: 62F10; 62F25; 33E20.

1. Introducción

Es de señalar la situación del empleo en México, correspondiente al primer trimestre de 2020, donde se registran 57,3 millones de personas en la categoría conocida como Población Económicamente Activa (PEA), y de esta cantidad, la Población Ocupada (POC) alcanzó 55,3 millones de personas, de los que 33,5 millones fueron hombres y 21,9 millones mujeres. Para la entidad de Quintana Roo la PEA representó el 65,2% de la población total, cantidad de la que el 97,1% se encuentra ocupada, mientras que en Aguascalientes la PEA representó el 59,5% de la población, de la que el 96,7% se encuentra ocupada (INEGI, 2020). Para el caso de Aguascalientes, no existen datos del total del número de personas de la población económicamente activa, solo existen datos en porcentajes.

La dinámica de la PEA como de la POC puede analizarse desde distintos enfoques, siendo uno de estos, de interés particular para el presente artículo: el número de trabajadores afiliados al Instituto Mexicano del Seguro Social (IMSS), es decir, el número de personas ocupadas que gozan de un trabajo formal, que genera aportaciones de seguridad social, vivienda y recaudación fiscal de cuya base es el salario (impuesto sobre nóminas y conceptos asimilados; impuesto sobre la renta). Con esta información se establecerán los patrones estadísticos de periodos mensuales, desde 1998 y hasta 2019, de tal forma que se pueda evaluar el impacto de la pandemia por COVID-19 en México, contrastando los resultados para estados con vocaciones económicas distintas: Quintana Roo cuya vocación recae en los servicios turísticos, construcción y servicios relacionados y Aguascalientes cuya vocación económica es industrial (IMSS, 2020).

Esto se pudiera explicar considerando que en ambos Estados, se encuentran grandes conglomerados empresariales: en Aguascalientes un buen número de grandes empresas industriales del sector automotriz y de autopartes, mientras que en Quintana Roo está constituido por grandes empresas de servicios, que optaron por no despedir a los empleados, sino aplicar tratamiento de descansar a empleados con disminución de salarios, jornales y aplicar esquemas de teletrabajo (Home office).

2. Marco referencial

De acuerdo con la Organización Internacional del Trabajo, millones de personas durante la pandemia por COVID-19 tuvieron, en el mejor de los casos, la necesidad de quedarse en casa e iniciar sus actividades laborales a distancia. No obstante, en millones de casos las personas tuvieron que sopesar reducción en las contraprestaciones o, en casos aún más graves, la pérdida de la relación laboral con el consecuente impacto en las finanzas personales, llegándose a estimar que la afectación del empleo en México alcanzaría los 24 millones de personas, lo que representaría más del 40% del empleo formal del país (Organización Internacional del Trabajo, 2020).

Respecto al impacto en el número de puestos de trabajo, se ha considerado que puede ser aminorado siempre que exista compromiso del gobierno federal y de los estados, estímulos a la economía mediante estímulos fiscales que fortalezcan las fuentes de trabajo y, en consecuencia, puedan evitarse la reducción de algunos empleos, sabiendo que, algunos de los sectores en los que se pueden esperar mayores consecuencias es en turismo, como lo que acontece en Quintana Roo, pero también en el de manufacturas que tiene presencia en el estado de Aguascalientes (Aguilar, 2020).

En este mismo sentido, se ha observado que entre las entidades del país que presentaron grave reducción en las plazas laborales son aquellas en cuya actividad económica se encuentran los servicios turísticos, expresando que tan solo en dos meses, abril y mayo del 2020, Quintana Roo perdió más de noventa mil puestos de trabajo, tan solo por debajo de la pérdida de empleo que registró la Ciudad de México en estos mismos períodos (de Jesús & Murillo, 2020).

Por su parte, la Organización para la Cooperación y el Desarrollo Económicos (OCDE) indica que el empleo formal es el que más impacto tiene en el crecimiento económico y en la reducción de la

pobreza, en donde evidentemente, los empleados formales se encuentran bajo un régimen tributario y con sus contribuciones fiscales otorgan al Estado un ingreso mayor que el de los trabajadores informales, debido a que los últimos solamente producen bienes y servicios más necesariamente contribuyen con el ingreso público. Por lo tanto, la reproducción de oficios remuneradores es esencial para avivar el crecimiento, comprimir la escasez y acrecentar la conexión social (OCDE, 2020).

En México, el empleo formal se mide principalmente a través del número de trabajadores registrados ante el IMSS, siendo la institución encargada de brindar seguridad social a los trabajadores registrados; por otro lado, el empleo informal describe a la actividad laboral independiente, los vendedores ambulantes, las trabajadoras de servicio doméstico, o bien, todos aquellos obreros que no tienen una relación laboral reconocida frente al Estado. Negrete (2011) declara que la tasa de desempleo no es el mejor indicador para medir la dinámica del mercado laboral de un país, es decir, la actividad económica mexicana no se ajusta al aumento de desempleos, sino por la disminución de salarios, el aumento del subempleo, el empleo informal y las malas condiciones de trabajo a las que están sujetas millones de trabajadores.

Hay que considerar que el acceso a un empleo de calidad en cualquier país del mundo, es el medio más eficaz para erradicar la penuria, debido a que, la ampliación de los ingresos profesionales es responsable de alrededor del 40% de la disminución de la pobreza en la última década a nivel internacional. La mayoría de los países en desarrollo como México afrontan, en distintos grados, tres desafíos primordiales: a) crear más empleos, b) mejorar la calidad de los empleos y c) conectar a las personas con las fuentes de empleo; no toda la mano de obra disfruta de las mismas oportunidades laborales (la juventud, las mujeres y los más necesitados son los más menospreciados en el mercado laboral). Se debe afirmar que la clase obrera tiene la capacidad que se necesita para descartar todas las formas de segregación al empleo (Banco Mundial, 2020).

Quizá por el interés general es por lo que existen programas de fomento, siendo aquellos que efectúa el Estado con el objeto de generar los ambientes adecuados para el impulso e incentivación del empleo entre la población. Por medio de los programas se explora la forma de solucionar los problemas que sufren tanto la oferta, como la demanda para encontrarse en el mercado laboral, de quienes buscan empleo, señalando la falta de promoción, la carencia de conocimientos, destrezas laborales, la falta de recursos para buscar y colocarse en un puesto de trabajo, o iniciar una actividad por cuenta propia, en el caso de la población joven la falta de experiencia laboral, o los grupos de población de adultos mayores y personas con alguna discapacidad.

3. Retos y esfuerzos para 2020

En México, el gobierno federal y cada Estado de la República contemplan en sus planes de desarrollo programas de fomento al empleo como: el Programa de Apoyo al Empleo, el Programa de Apoyo a la Capacitación en el Trabajo, el Fomento a la Productividad, el Programa de Fomento al Trabajo Digno, entre otros. En el ámbito de los efectos del COVID-19 sobre la economía, Rivero (2020) argumentó que existen proyecciones que prevén una crisis de empleo en México, es por ello que, el Presidente de la República, Andrés Manuel López Obrador, mediante decreto afirmó que se irían dando a conocer los ajustes al plan de reactivación económica a partir del 23 de abril de 2020 (Presidencia de la República, 2020), mencionando su deseo para luchar por la creación de dos millones de empleos buscando la protección de los más pobres, pero reconociendo que durante los primeros meses del año 2020 se perdieron 148.845 puestos de trabajo, 21.263 trabajos al día, especificando que seis entidades concentraron el 56% del total de las separaciones laborales: Quintana Roo 63.847, Ciudad de México 55.591, Nuevo León 23.465, Jalisco 21.535, Estado de México 16.036 y Tamaulipas 12.652.

También la publicación del Decreto mencionado anteriormente señalaba compañías que habían cesado a trabajadores infundadamente, sin pago de sueldos y salarios, en donde el 47,5% de las ocupaciones perdidas se efectuaron en medianas empresas; entre las acciones más afectadas se hallarían

la industria de la transformación (automotriz, maquinaria y equipo eléctrico, entre otros), perjudicando directamente al estado de Aguascalientes.

Por otra parte, la industria de la construcción y turismo se vieron afectadas en todo el país, pero especialmente Quintana Roo y Baja California Sur, ocasionando erosión en otras actividades como los servicios pedagógicos, bancarios, industriales, edificación, inmobiliarios y marítimos; esto se puede notar en contraste, con servicios menos afectados como los médicos, alimentos, tecnologías, comunicación, comercio y agricultura.

Entre las medidas indicadas por las entidades federativas ante la emergencia, el gobernador de Quintana Roo, Carlos Joaquín González, declaró que el estado trabajó en medidas de prevención, que se intensificaron el 14 de marzo. Entre ellas destacaron: medidas sanitarias (control de higiene, aislamiento social, test diarios, permanencia en casas, no asistir a lugares masivos); medidas económicas (suspensión de horarios para establecimientos que expendan bebidas alcohólicas, y cierre de establecimientos con concurrencia masiva); estímulos fiscales (diferimiento de pago de los impuestos, condonación del 20% para pago en tiempo y forma de los impuestos, condonación de multas e intereses moratorios, suspensión de actos de fiscalización estatales, ampliación para pago de tenencias y placas vehiculares, registro público); apoyo con abastecimiento de agua (servicio garantizado sin cortes ni sanciones); micro, pequeñas y medianas empresas (programa estatal de financiación al emprendedor, a la actividad artesanal, impulso a las empresas); servicios en línea (pagos en línea por cierre parcial de oficinas públicas); apoyo de médico en tu casa (a través del 911 con médicos de todas las especialidades, psicólogos, gratuitas); apoyo con créditos (productos hechos en quintana roo); así como también de apoyos con la energía eléctrica y gas LP, apoyando desde lo social a la gente y preparando los destinos turísticos para la recuperación con campañas de promoción a mercados regionales para reactivar la demanda como meta de turismo para este año (Gobierno de Quintana Roo, 2020).

En el estado de Aguascalientes, el Gobernador, Martín Orozco Sandoval, presentó el Programa "Todos por Aguascalientes", a finales de marzo, con una Bolsa de 1.800 millones de pesos, con el objetivo de aminorar el impacto económico del COVID-19, protegiendo las finanzas estatales y al empresariado, destacando: financiamiento y subsidio a MIPYMES, impulso al consumo local (ayudando a 56.706 personas y 500 empresas), apoyo al campo, inversión de obra pública (generando 5.000 empleos y salvaguardando a 138 empresas), incentivos empresariales, apoyo alimenticio para grupos vulnerables, fortalecimiento de la economía familiar, fondo especial para empresarios y sus trabajadores (dirigido a apoyar trabajadores que se han quedado sin empleo), apoyo a micronegocios (para Mujer emprendedora, Talento Joven, Fondo Incluyente y Fondo Fortalece), respaldo a comercios locales (a través de envíos a domicilio, con el fin de que los comercios sigan trabajando y abasteciendo a la sociedad) y capacitación en línea para incrementar las ventas online (Patiño & Cruz, 2020).

De acuerdo a lo anterior, algunos estados de México, como el caso de Aguascalientes y Quintana Roo, han procurado apuntalar sus economías, con distintos elementos. Quizá debido a la vocación económica particular, por tales circunstancias se vuelve interesante y a la vez necesario, realizar análisis comparado del nivel de cambios en el empleo formal en estos dos estados, durante los meses del primer cuatrimestre del año 2020, conociendo cuáles han sido los efectos causados por la pandemia de COVID-19. Por lo anterior, en el siguiente apartado se indicará la metodología aplicada, alineada con el objetivo general y la principal incógnita a resolver.

4. Metodología y datos

El objetivo general del presente artículo es establecer el nivel de cambios en el número de trabajadores afiliados al Instituto Mexicano del Seguro Social (IMSS), durante la epidemia por COVID-19. Se considera que los primeros dos meses de 2020 en que ya estaba declarada contingencia en otros países,

pudo incidir indirectamente en la dinámica laboral y posteriormente, de manera directa, el aviso oficial para distanciamiento social en México a partir de marzo y durante el mes de abril.

La principal incógnita para responder será la siguiente: ¿Cuáles fueron los cambios y la magnitud en el número de trabajadores afiliados al IMSS durante los meses de enero, febrero, marzo y abril 2020?

La variable de interés es el número de trabajadores afiliados al IMSS, con amplitud de datos de 1998 a 2019, en agrupaciones mensuales (enero, febrero, marzo y abril) tanto para el estado de Aguascalientes como Quintana Roo.

Tabla 1. Trabajadores afiliados al IMSS en el estado de Aguascalientes, 1998-2019

Año	Enero	Febrero	Marzo	Abril
1998	145.731	148.066	150.723	153.166
1999	156.020	158.006	162.293	162.514
2000	172.842	176.183	178.610	179.954
2001	182.726	184.084	184.271	185.603
2002	176.427	176.821	176.646	181.271
2003	180.198	180.560	180.962	182.889
2004	178.088	177.737	179.476	179.840
2005	183.521	186.458	186.735	187.162
2006	188.115	189.904	191.779	193.274
2007	203.834	205.371	206.779	208.786
2008	208.017	206.724	207.545	209.679
2009	199.151	198.237	197.510	197.451
2010	200.746	202.236	204.779	207.188
2011	205.433	207.327	209.918	210.529
2012	214.683	216.472	218.836	220.053
2013	230.266	232.142	233.925	235.947
2014	242.758	245.654	247.663	249.575
2015	257.555	260.487	262.850	264.182
2016	274.146	278.093	280.339	282.761
2017	290.744	293.966	297.378	298.118
2018	307.118	310.545	312.853	316.044
2019	323.981	325.728	326.846	327.345

Fuente: Elaboración propia con datos del Instituto Mexicano de Seguro Social (IMSS, 2020).

Tabla 2. Trabajadores afiliados al IMSS en el estado de Quintana Roo. 1998-2019.

Año	Enero	Febrero	Marzo	Abril
1998	131.110	133.783	133.815	136.513
1999	152.060	157.129	155.282	155.865
2000	155.477	157.957	162.379	162.436
2001	171.640	175.119	178.218	177.155
2002	166.999	170.181	173.212	172.640
2003	179.926	181.365	183.052	183.977
2004	192.318	195.447	199.145	200.207
2005	215.652	219.483	220.441	224.263
2006	222.711	227.077	231.409	231.902
2007	250.485	254.008	256.650	258.126
2008	265.923	270.821	272.556	274.433
2009	268.545	269.006	270.648	268.492
2010	258.567	260.704	265.696	260.789
2011	269.063	271.697	272.369	272.525
2012	272.756	273.948	276.897	275.269

2013	285.544	288.951	291.352	290.836
2014	299.706	303.767	306.989	308.393
2015	320.889	323.040	326.901	328.451
2016	348.633	353.634	357.584	359.875
2017	382.352	388.977	393.536	394.646
2018	425.496	431.285	434.918	441.383
2019	458.585	459.222	458.246	463.068

Fuente: Elaboración propia con datos del Instituto Mexicano de Seguro Social (IMSS, 2020).

Con la información contenida en las Tablas 1 y 2, se realizaron pruebas de ajuste para distribución normal y lognormal, siendo el parámetro de decisión el estadístico Anderson-Darling (Grace & Wood, 2012; Shin et al., 2012), representado por A^2 con nivel crítico de 0,752 es decir, cuanto menor sea el resultado para A^2 se entenderá un mejor ajuste.

$$A^2 = -n - \left(\frac{1}{n}\right)\sum(2_i - 1)\{lnF(Y_i) + ln(1 - F(Y_{n+1-i}))\}$$

donde:

$n = número\ de\ datos\ de\ afiliados\ al\ IMSS$

$ln = logaritmo\ natural$

$F = distribución\ con\ función\ acumulativa$

La función con mejor ajuste se utilizará para calcular parámetros probabilísticos de dos extremos con significancia de $^{\alpha}/_{2} = 0{,}025$. Las curvas de distribución normal se obtendrán a partir de la siguiente función:

$$f_{normal}(x;\mu,\sigma) = \frac{e^{-\frac{(x-\mu)^2}{\sigma^2}}}{|\sigma|\sqrt{2\pi}}; x > 0 \quad [1]$$

Por lo tanto, el área bajo la curva para establecer los límites al nivel de significación estará dada por la siguiente integral definida:

$$\int_{\theta}^{\rho} f_{normal}\,(x;\mu,\sigma)dx = \int_{\theta}^{\rho} \frac{e^{-\frac{(x-\mu)^2}{\sigma^2}}}{|\sigma|\sqrt{2\pi}}; x > 0 \quad [2]$$

donde:

$\mu = media\ del\ número\ de\ afiliados\ al\ IMSS$

$\sigma = desviación\ estándar\ del\ número\ de\ afiliados\ al\ IMSS$

$\pi = Pi{\sim}3{,}141$

$x = número\ de\ afiliados\ en\ un\ período\ mensual\ a\ evaluar$

En cuanto a la distribución lognormal, la función de densidad para representar las curvas estará dada por la siguiente función (Dey & Kundu, 2009):

$$f_{lognormal}(x;\eta,\tau) = \frac{1}{\sqrt{2\pi x\eta}} e^{-\frac{1}{2}\left(\frac{(\ln(x)-\ln(\tau))^2}{\eta^2}\right)}; x > 0 \quad [3]$$

Por lo tanto, el área bajo la curva con límite a los valores que expresen el nivel de significación de $^{\alpha}/_{2} = 0{,}05$ estarán comprendida en la integral definida siguiente:

$$\int_{\theta}^{\rho} f_{lognormal}(x;\eta,\tau)dx = \int_{\theta}^{\rho} \frac{1}{\sqrt{2\pi x\eta}} e^{-\frac{1}{2}\left(\frac{(\ln(x)-\ln(\tau))^2}{\eta^2}\right)} dx; x > 0 \quad [4]$$

donde:

$ln = logaritmo\ natural$

$\eta = parámetro\ de\ forma\ en\ el\ número\ de\ afiliados\ al\ IMSS, análogo\ a\ \mu$

$\tau = parámetro\ de\ escala\ en\ el\ número\ de\ afiliados\ al\ IMSS, análogo\ de\ \sigma$

$\pi = Pi{\sim}3{,}141$

$x = número\ de\ afiliados\ en\ un\ período\ mensual\ a\ evaluar$

Después de elegir la distribución para cada serie (mes/estado del país), se realizan evaluaciones para el número de trabajadores registrados, representando los valores en gráficas de distribución normal, ubicando en este cada valor, calificando si pueden considerarse cambios significativos bajo criterios clásicos.

Los resultados anteriores se contrastan con el estadístico d de Cohen (Cumming, 2013):

$$d = \frac{(x-\lambda)}{\zeta}$$

donde:

$d = delta\ de\ Cohen$

$x = trabajadores\ afiliados\ al\ IMSS\ en\ un\ período\ a\ evaluar$

$\lambda = forma\ o\ media\ del\ número\ de\ afiliados\ al\ IMSS$

$\zeta = escala\ o\ desviación\ estándar\ del\ número\ de\ afiliados\ al\ IMSS$

Estableciendo criterios adecuados para tres categorías de cambios:

$cambio\ menor \rightarrow 0{,}00 \leq d \leq 1$

$cambio\ medio \rightarrow 1 < d \leq 2$

$gran\ cambio, cuando\ d > 2$

5. Resultados

Respecto a las pruebas de ajuste, es importante destacar que se realizaron por grupos de meses, es decir, enero 1998, enero 1999… enero 2019; febrero 1998, febrero 1999… febrero 2019; marzo 1998, marzo 1999… marzo 2019; abril 1998, abril 1999… abril 2019.

De acuerdo a la información de la Tabla 3, en todos los casos resultó mejor ajuste a distribución lognormal, por lo tanto, serán los parámetros empleados para la medición de cambios.

Tabla 3. Pruebas de ajuste A^2 para los meses de enero a marzo 2020.

Meses	Normal		Lognormal	
	Aguascalientes	Quintana Roo	Aguascalientes	Quintana Roo
Enero	0,813	0,381	0,476	0,242
Febrero	0,873	0,402	0,528	0,254
Marzo	0,905	0,391	0,559	0,244
Abril	0,934	0,414	0,594	0,238

Fuente: Elaboración propia.

En lo referente a los estadísticos para evaluar lo meses de 2020 bajo parámetros lognormales, en la Tabla 4 se presentan los estimados de forma y escala.

Tabla 4. Estadísticos de forma y escala para los meses de enero a abril 2020.

Meses de 2020	Estado	Forma	Escala
Enero	Aguascalientes	12,25	0,2158
	Quintana Roo	12,41	0,3432
Febrero	Aguascalientes	12,26	0,2160
	Quintana Roo	12,42	0,3393
Marzo	Aguascalientes	12,27	0,2147
	Quintana Roo	12,43	0,3384
Abril	Aguascalientes	12,28	0,2133
	Quintana Roo	12,43	0,3388

Fuente: Elaboración propia.

Los cambios se evalúan, en primer lugar, con criterios clásicos, ubicando en la gráfica de distribución si cada cantidad evaluada se encuentra, o no, en el área de la integral definida por los valores entre los cuales se encuentra el 95% de probabilidad.

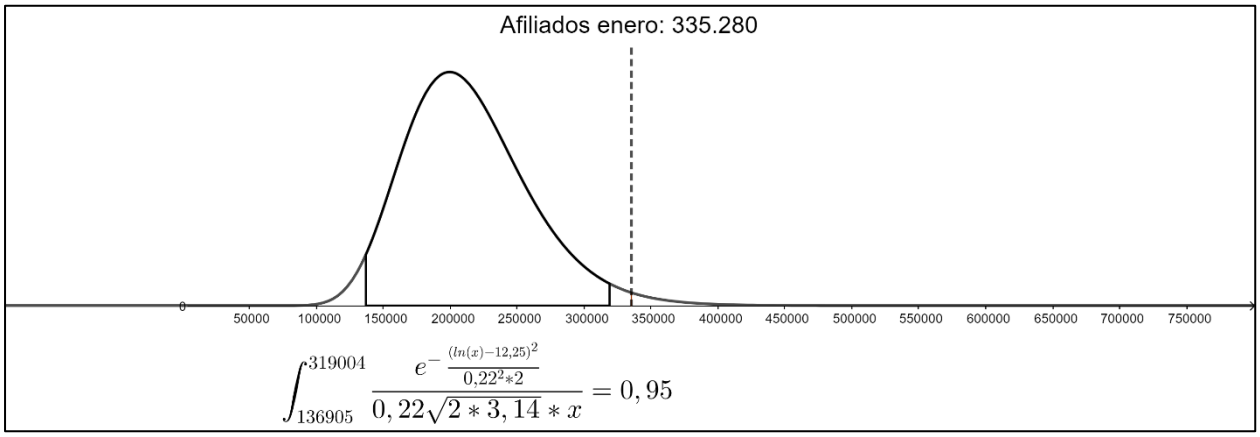
Tabla 5. Trabajadores afiliados al IMSS en el primer cuatrimestre de 2020.

Estados	Enero	Febrero	Marzo	Abril
Aguascalientes	335.280	338.559	336.383	328.581
Quintana Roo	472.299	472.041	424.238	379.254

Fuente: Elaboración propia.

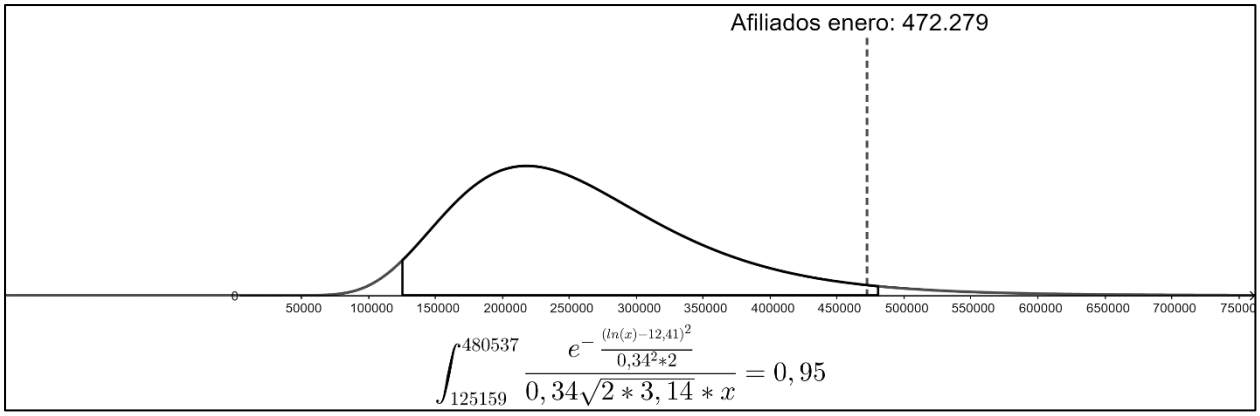
En las siguientes evaluaciones de los meses enero y febrero, comprenden el período previo al distanciamiento social pero ya con presencia del COVID-19 a nivel mundial.

Figura 1. Cambio en trabajadores afiliados al IMSS en Aguascalientes: enero 2020.



Fuente: Elaboración propia mediante GeoGebra.

Figura 2. Cambio en trabajadores afiliados al IMSS en Quintana Roo: enero 2020.



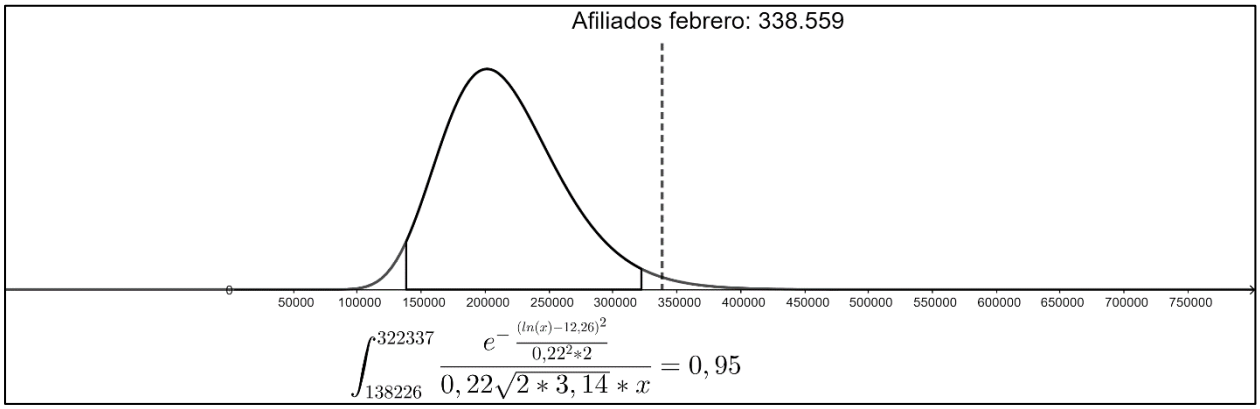
Fuente: Elaboración propia mediante GeoGebra.

El cambio en el número de afiliados para el mes de enero resultó de incremento significativo, fuera del límite normal para el estado de Aguascalientes. No obstante, en el estado de Quintana Roo el valor de esta variable se encontró dentro de lo normal, aunque muy cercano al límite máximo.

En el mes de febrero el estado de Aguascalientes presentó cambio incremental, significativo, respecto a Quintana Roo, el que, al igual que en el mes de enero, sí se presentó incremento, pero sin que pueda llegar a considerarse significativo.

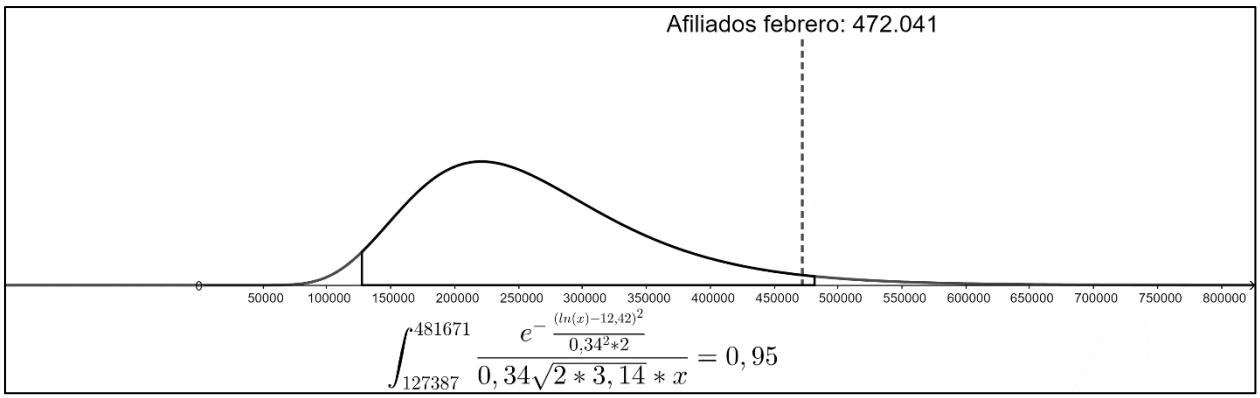
En las siguientes dos evaluaciones, marzo y abril, estaría comprendido el efecto ocasionado por períodos en plenas medidas de distanciamiento, de lo que se esperaría reducción significativa en los trabajadores afiliados.

Figura 3. Cambio en trabajadores afiliados al IMSS en Aguascalientes: febrero 2020.



Fuente: Elaboración propia mediante GeoGebra.

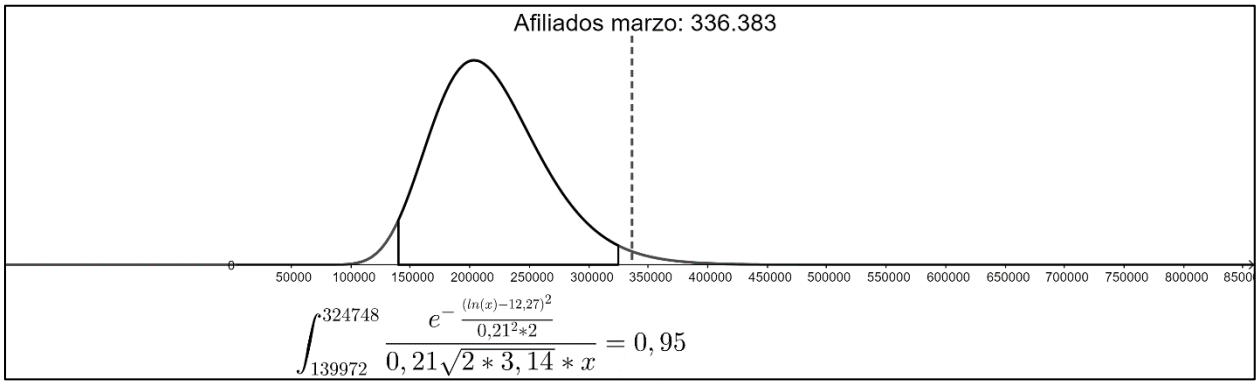
Figura 4. Cambio en trabajadores afiliados al IMSS en Quintana Roo: febrero 2020.



Fuente: Elaboración propia mediante GeoGebra.

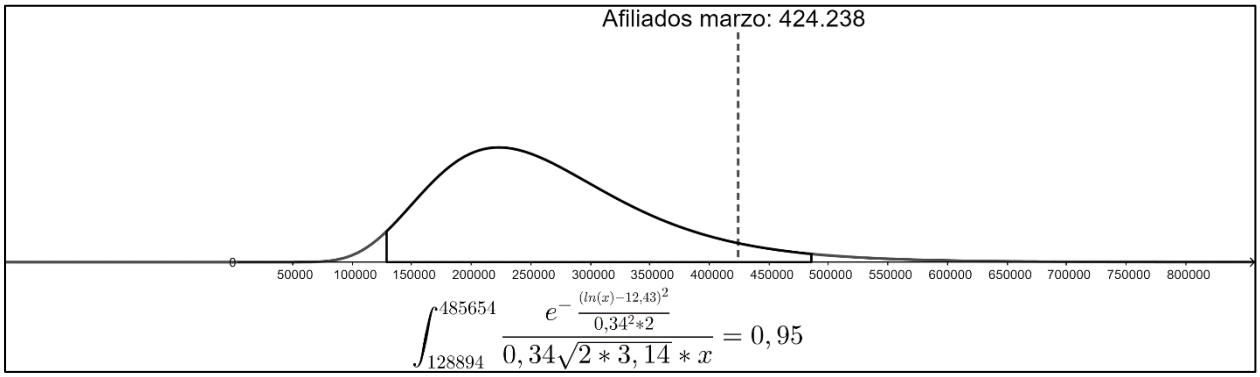
Las evaluaciones para el mes de marzo (Figuras 5 y 6) muestran que en Aguascalientes, contrariamente a lo que se podría haber supuesto, el número de trabajadores se incrementó significativamente; sin embargo, en el estado de Quintana Roo no se alcanzó cambio significativo, aunque, como en los meses de enero y febrero, sí se presentó incremento, cercano al límite para considerarse cambio incremental significativo.

Figura 5. Cambio en trabajadores afiliados al IMSS en Aguascalientes: marzo 2020.



Fuente: Elaboración propia mediante GeoGebra.

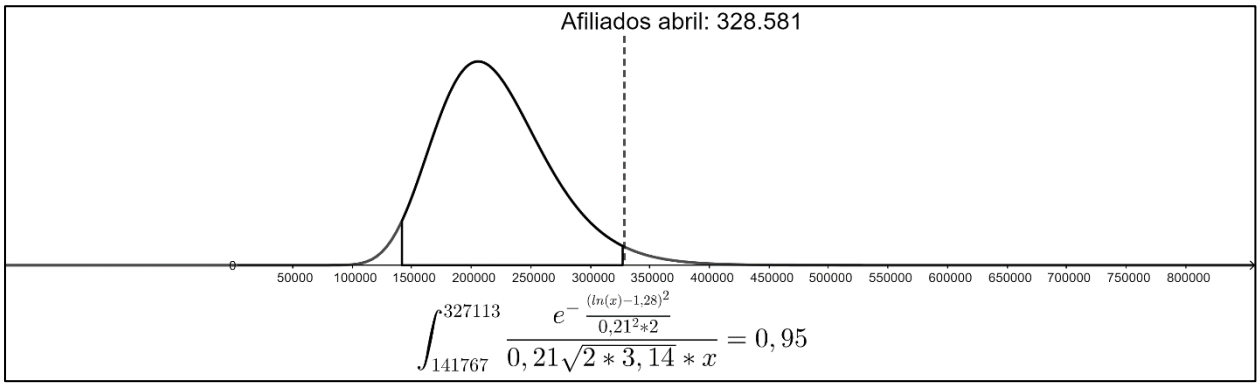
Figura 6. Cambio en trabajadores afiliados al IMSS en Quintana Roo: marzo 2020.



Fuente: Elaboración propia mediante GeoGebra.

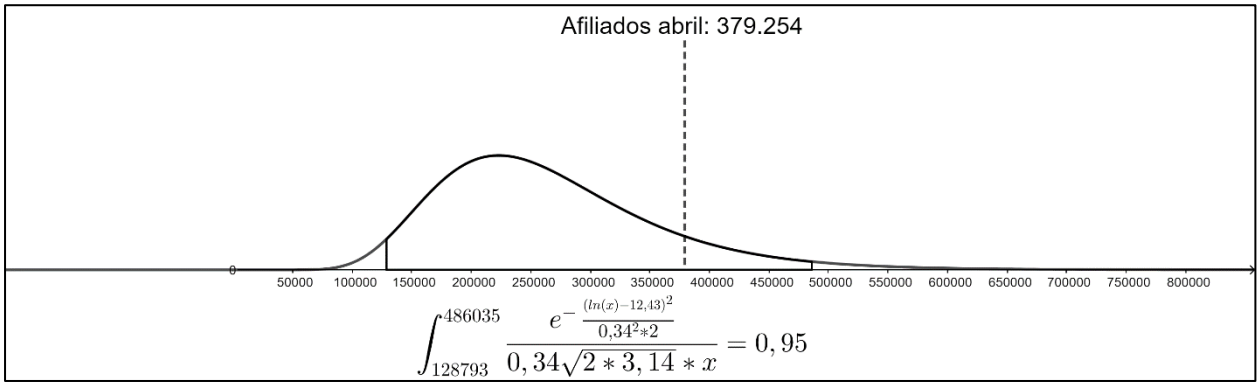
Finalmente se presentan los resultados para el mes de abril, período que pudiera denominarse como “en profundo distanciamiento”:

Figura 7. Cambio en trabajadores afiliados al IMSS en Aguascalientes: abril 2020.



Fuente: Elaboración propia mediante GeoGebra.

Figura 8. Cambio en trabajadores afiliados al IMSS en Quintana Roo: abril 2020.



Fuente: Elaboración propia mediante GeoGebra.

Las evaluaciones en el mes de abril permiten apreciar particularidades interesantes. En el primer caso analizado, Aguascalientes, el número de afiliados resultó incremental y significativo, aunque en

menor medida que los meses anteriores. En lo que respecta a Quintana Roo, el número de afiliados puede considerarse dentro de una cantidad regular para el mes de abril, aunque también se redujo la constancia de mantenerse, hasta marzo, cercano al límite de incrementos significativos.

A continuación, se presenta la contrastación de los resultados de cambios bajo criterios clásicos con respecto al estadístico d de Cohen, como parte del metaanálisis.

Tabla 6. Nivel de cambios mediante delta de Cohen (metaanálisis).

Meses	Estado	Número de afiliados (logaritmo natural)	Forma	Escala	Delta de Cohen
Enero	Aguascalientes	12,73	12,25	0,2158	**2,23**
	Quintana Roo	13,07	12,41	0,3432	**1,93**
Febrero	Aguascalientes	12,74	12,26	0,2160	**2,23**
	Quintana Roo	13,07	12,42	0,3393	**1,92**
Marzo	Aguascalientes	12,73	12,27	0,2147	**2,15**
	Quintana Roo	12,96	12,43	0,3384	**1,57**
Abril	Aguascalientes	12,71	12,28	0,2133	**2,02**
	Quintana Roo	12,85	12,43	0,3388	**1,24**

Fuente: Elaboración propia.

De acuerdo a los criterios adoptados para catalogar el nivel de cambios, en todos los meses del primer cuatrimestre de 2020 se presentaron grandes incrementos en el número de afiliados de Aguascalientes.

En lo que respecta a Quintana Roo, se presentaron incrementos en todos los períodos analizados, en todos los casos se presentaron cambios medios en el número de trabajadores afiliados.

6. Conclusiones

Uno de los factores económicos más afectados por la pandemia del COVID-19, ha sido sin lugar a duda el sector laboral, nadie podría negar la afectación a nivel nacional. Sin embargo, en agrupaciones mensuales con 22 observaciones por cada mes del año, los empleos formales registrados en el IMSS durante el primer cuatrimestre de 2020, no presentaron bajas alarmantes desde un punto de vista de la significancia estadística. Para el caso de los empleados en Aguascalientes, de comparar cifras anuales, como se realiza con el Producto Interno Bruto o la inflación, los empleos de enero, febrero, marzo y abril de 2020, fueron mayores a los registrados en esos mismos meses pero en el año anterior. En Quintana Roo sucedió una situación similar en los trabajos correspondientes a los meses de enero y febrero, no así en marzo y abril. A las empresas se les sugirió que no se despidiera personal ya que el Gobierno Federal se negó a emitir la declaratoria de "Emergencia Sanitaria", disfrazándola con la declaratoria "Contingencia Sanitaria", pues en caso de haber declarado la primera, solo obligaría a los patrones a cubrir un salario mínimo general hasta por un mes, acorde con el Artículo 429 de la Ley Federal del Trabajo. Sin embargo, al señalar esta pandemia de COVID-19 como "Contingencia sanitaria", permanecería la obligación del pago de salarios completos y de conservar la fuente de empleo.

Lo anterior explicaría la poca reducción, de acuerdo a la distribución de datos, de empleados formales en el primer cuatrimestre 2020. Sin embargo, pudo ser el aval para la existencia de convenios o acuerdos entre patrones y trabajadores para el goce anticipado de vacaciones o bien reducción de

jornadas laborales o inclusive, ajuste al monto salarial argumentando cambios de categorías para poder mantener prestaciones formales, sobre todo las médicas y hospitalarias.

En los resultados para ambos estados se aprecia incremento del empleo formal en el periodo enero a abril de 2020, quizá contrario a resultados en otros estados del país. Tal situación estaría apalancada en el hecho de que muchas de las empresas en ambos estados son conglomerados de gran tamaño: en Quintana Roo grandes hoteles y operadoras turísticas involucradas, mientras que en Aguascalientes hay una gran cantidad de empresas del sector automotriz y de autopartes, y es probable que aunque no estén trabajando los empleados, se les haya conservado su plaza de trabajo en el IMSS, y aunque en algunos casos se dio una baja salarial por convenio con los empleados, como en el caso de Nissan Mexicana que pagó solo el 50% de los salarios, aún así se conservaba el empleo hasta que se diera la reapertura, no dudando que esto se haya seguido por múltiples empresas del sector manufacturero y turístico, lo que ayudó a conservar el empleo.

Este estudio abre la interrogante para futuras líneas de investigación, con el mismo estudio en los meses subsecuentes para poder corroborar, si se continuó conservando la base del trabajo formal o bien hasta qué período fue posible conservar al menos, los registros de los empleados ante el IMSS.

Referencias

Aguilar, J. (2020). *Resonancias*. Instituto de Investigaciones Sociales de la UNAM. Desacargado de https://www.iis.unam.mx/blog/mexico-efectos-del-covid-19-en-el-mercado-del-trabajo/

Banco Mundial (2020). *Empleo y desarrollo.* Descargado de https://www.bancomundial.org/es/topic/jobsanddevelopment/overview

Cumming, G. (2013). Cohen's d needs to be readily interpretable: Comment on shieh. *Behavior Research Methods, 45(4),* 968-971.

De Jesús, L. & Murillo, B. (2020). Efectos del Covid-19 en el empleo sectorial en México 2020. *Economía Actual, 3*, 23-29.

Dey, A.K. & Kundu, D. (2009). Discriminating between the log-normal and log-logistic distributions. *Communications in Statistics - Theory and Methods, 39*(2), 280-292.

Gobierno de Quintana Roo (2020). *Estrategia Reactivemos Quintana Roo dentro del plan Juntos Saldremos Adelante.* Descargado de https://qroo.gob.mx/portal/estrategia-reactivemos-quintana-roo-dentro-del-plan-juntos-saldremos-adelante-conozcamos-en-que-consiste-y-como-funcionara/

Grace, A.W. & Wood, I.A. (2012). Approximating the tail of the Anderson–Darling distribution. *Computational Statistics and Data Analysis, 56*(12), 4301-4311.

IMSS (2020). *Trabajadores Asegurados - Series de Tiempo TABLEAU.* Descargado de https://public.tableau.com/profile/imss.cpe#!/vizhome/Histrico_4/Empleo_h?publish=yes

INEGI (2020). *Ocupación - Población de 15 años y más según condición de actividad y disponibilidad, nacional trimestral.* Descargado de https://www.inegi.org.mx/temas/empleo/default.html#Tabulados

Negrete, R. (2011). El indicador de la polémica recurrente: la tasa de desocupación y el mercado laboral en México. *Revista Internacional de Estadística y Geografía, 2*(1), 22-43.

OCDE (2020). *Dirección de empleo, asuntos sociales y laborales.* Descargado de https://mailchi.mp/oecd/imo-2018

Organización Internacional del Trabajo (2020). *Panorama laboral en tiempos del COVID,* México: OITAmericas.

Patiño, M. & Cruz, G. (2020). Las medidas adoptadas por las entidades federativas ante la emergencia del Covid-19. *Cuaderno de Investigación, 7*, 1-162.

Presidencia de la República, 2020. *DECRETO por el que se establecen las medidas de austeridad que deberán observar las dependencias y entidades de la Administración Pública Federal bajo los criterios que en el mismo se indican.* México: Secretaría de Gobernación.

Rivero, E. (2020). Medidas para la recuperación económica ante la emergencia sanitaria Covid-19: Del crédito solidario al seguro de desempleo. *Cuaderno de Investigación, 9*, 1-57.

Shin, H., Jung, Y., Jeong, C., & Heo, J. (2012). Assessment of modified Anderson–Darling test statistics for the generalized extreme value and generalized logistic distributions. *Stochastic Environmental Research and Risk Assessment, 26*(1), 105-114.

REVISTA DE MÉTODOS CUANTITATIVOS PARA LA ECONOMÍA Y LA EMPRESA (33). Páginas 29-48.
Junio de 2022. ISSN: 1886-516X. D.L: SE-2927-06.
www.upo.es/revistas/index.php/RevMetCuant/article/view/5146

Modelación de riesgo de crédito de personas naturales. Un caso aplicado a una caja de compensación familiar colombiana

RODRÍGUEZ GUEVARA, DAVID ESTEBAN
Instituto Tecnológico Metropolitano de Medellín (Colombia)
Correo electrónico: davidrodriguez@itm.edu.co

RENDÓN GARCÍA, JUAN FERNANDO
Instituto Tecnológico Metropolitano de Medellín (Colombia)
Correo electrónico: juanrendon@itm.edu.co

TRESPALACIOS CARRASQUILLA, ALFREDO
Instituto Tecnológico Metropolitano de Medellín (Colombia)
Correo electrónico: alfredotrespalacios@itm.edu.co

JIMÉNEZ ECHEVERRI, EDWIN ANDRÉS
Instituto Tecnológico Metropolitano de Medellín (Colombia)
Correo electrónico: edwinjimenez@itm.edu.co

RESUMEN

Los modelos de tipo *Credit Score* permiten a los analistas de crédito la cuantificación de los riesgos que implican las operaciones de crédito, la segmentación de afiliados y la recomendación de decisiones de otorgamiento o rechazo de un crédito para personas naturales. Estos modelos buscan entregar la información necesaria para inferir sobre las probabilidades de impago de un afiliado, mediante la aplicación de técnicas paramétricas o no paramétricas. En este trabajo se busca identificar cuáles de los siguientes modelos pueden ser más apropiados para medir el riesgo de crédito de personas naturales en una caja de compensación familiar ubicada en Colombia: Logit, Probit, Redes Neuronales o Linear Support-Vector Machine. Los resultados obtenidos muestran que, si bien los Linear Support Vector Machine pueden tener mejor desempeño, los modelos Probit-Stepwise son igualmente útiles y tienen como ventaja la posibilidad de interpretar los parámetros calibrados.

Palabras clave: riesgo de crédito, Logit, Probit, red neuronal, support vector machine.
Clasificación JEL: G21; C35; C45.
MSC2010: 91G40; 91G70.

Artículo recibido el 17 de julio de 2020 y aceptado el 2 de agosto de 2021.

Natural People Credit Risk Modeling. An applied case in a Colombian Family Benefit Fund

ABSTRACT

Credit score models quantify the risks in credit operations, customer segmentation, and approve or reject requests to credit customers. These models provide the necessary information to calculate the probabilities of default of any customer through the application of parametric or non-parametric techniques. This work identifies which model (Logit, Probit, Neural Networks, or Linear Support-Vector Machine (L-SVM)) may be more appropriate to measure the credit risk of individuals in a Family Benefit Fund located in Colombia. The results show Linear Support Vector Machine produces better performance, but Probit - Stepwise models are equally useful and they have the advantage of being interpreting the calibrated parameters.

Keywords: Credit Risk, Logit Model, Probit Model, Neural Network, Support Vector Machine.
JEL classification: G21; C35; C45.
MSC2010: 91G40; 91G70

1. Introducción

Las entidades financieras que tienen dentro de sus objetos sociales la colocación de créditos destinados al desarrollo de actividades de inversión o necesidades de gastos de sus clientes, que pueden ser personas naturales o jurídicas, se exponen al riesgo de crédito que Rodríguez y Trespalacios (2015) describen como "la pérdida monetaria generada por la posibilidad de impago en la cartera de los clientes" (p.2). Dentro del proceso de gestión del riesgo de crédito, se requiere establecer metodologías para la toma de decisiones en la asignación de créditos a clientes, que tengan en cuenta las características socioeconómicas de los clientes que puedan ser determinantes de posibles eventos de impago. Los análisis por modelación discriminatoria de clientes basada en *Credit Score*, han sido utilizados ampliamente para la medición del riesgo de crédito de un solicitante de crédito. Este tipo de análisis parte de la selección y medición de las variables socioeconómicas determinantes del riesgo de crédito que sirven como entrada a modelos de *Credit Score* que tienen como salida una variable dicotómica asociada al evento de impago.

Los modelos de *Credit Score* se pueden aplicar en diferentes contextos que tienen en común la necesidad de medir la probabilidad del evento impago a partir de cierta información socioeconómica conocida del solicitante. Rayo et al. (2010) que tiene un enfoque sobre las entidades microfinancieras, o el de Támara et al. (2018) que tiene un enfoque en el sector salud y los impagos en un hospital, son ejemplos de aplicación de modelos de *Credit Score* en diferentes contextos. Dentro del sector financiero - cooperativo enfocado en las cajas de compensación familiar, que a través de los años han podido tener como productos de beneficio a los trabajadores "afiliados", el otorgamiento de créditos. Según la legislación colombiana son entidades que administran y pagan el subsidio familiar (Ley 21, 1982).

Para los casos de aplicación de modelos probabilísticos en entidades de carácter financiero, se realiza una revisión teórica de los conceptos y metodologías aplicables al Credit score con los trabajos de Saavedra-García y Saavedra-García (2010), Abdou y Pointon (2011) y Rodríguez et al. (2017), que muestran una clasificación teórica de los tipos de modelos utilizados, dentro de los que se encuentran: 1) modelos paramétricos, 2) modelos no paramétricos y 3) modelos mixtos o metodologías mezcladas. Adicionalmente, Melo-Velandia y Becerra-Camargo (2005), Saavedra-García y Saavedra-García (2010), Abdou y Pointon (2011), Rodríguez et al. (2017) y Támara et al. (2018) indican que los métodos usados con mayor frecuencia por su efectividad y facilidad de realización son los modelos paramétricos; asimismo, Moreno y Melo (2011) demuestran que los modelos paramétricos son más fáciles de leer, pero pueden tener problemas de ajuste en el pronóstico, en comparación con los modelos no paramétricos que muestran una mejor respuesta de ajuste, pero mayor dificultad en su interpretación.

En contraste, los modelos no paramétricos son usados y recomendados por autores como Desai et al. (1996), Zhai y Russell (1999), Pérez y Fernández (2007), Sustersic et al. (2007), Zhou et al. (2009), Martens et al. (2010), Soydaner y Kocadağlı (2015) y Millán-Solarte y Caicedo-Cerezo (2018), quienes en la mayoría de los casos usan redes neuronales que procesan la información con el fin de minimizar los errores en las discriminaciones, validándose bajo los mismos criterios que los modelos paramétricos para medir su desempeño. Justamente, este criterio ha llevado a la pregunta de cuál puede ser la metodología óptima para aplicar en una medición de Credit score, y es que los autores anteriores no identifican objetivamente cuáles de estos modelos son más apropiados para utilizar, como lo explican Melo y Granados (2011), todas las metodologías tienen pros y contras en el desarrollo y en la comprensión de los resultados haciendo ambigua esta decisión; pero Thomas et al. (2002), Anderson (2007), Hosmer et al. (2013), Hilbe (2015) y Trejo et al. (2017) destacan la inclusión de pruebas de bondad de ajuste comparables bajo ciertos criterios de evaluación, con el fin de identificar el mejor modelo. Un ejemplo de estas pruebas lo constituyen el AUC-ROC y las tablas de confusión.

Tiendo en cuenta las anteriores consideraciones, este trabajo realiza una evaluación y posterior selección de metodologías paramétricas y no paramétricas para la estimación de la probabilidad de impago de personas naturales en una caja de compensación familiar en Colombia con una base de datos de 13.091 afiliados con información del 2018. Los modelos que se evalúan en este estudio son modelos Logit, Probit, Redes Neuronales y Maquinas de Soporte Vectorial lineales (L-SVM, por su sigla en

inglés Linear-Support Vector Machine), usando metodologías de Salazar (2013), Ochoa et al. (2010), Moreno (2013) y Moreno y Melo (2011). Los resultados obtenidos muestran que los modelos Logit, Probit, Redes Neuronales y L-SVM estimados no presentan diferencias significativas en los criterios de bondad de ajuste mostrando valores superiores a 90% en AUC-ROC y valores superiores a 80% en Gini, lo que implica un alto desempeño, mientras que el modelo de Red Neuronal presenta desempeño inferior en términos de ajuste con un criterio de AUC-ROC inferior al 90% y un valor GINI inferior al 80%. Si bien el modelo L-SVM tuvo el mejor desempeño, los modelos Probit, con selección de variables mediante proceso de optimización Stepwise, son igualmente útiles y tienen como ventaja la posibilidad de interpretar los parámetros calibrados. Teniendo en cuenta los criterios de Moreno y Melo (2011) de flexibilidad e interpretación se hace la elección final enfocada en la necesidad de la entidad.

Para entender el procedimiento en este trabajo se hace una descripción del estado del arte tanto en las metodologías de cálculo como en la definición de riesgo de crédito. Luego se muestra la metodología aplicada y la especificación de cada uno de los modelos matemáticos analizados. Posteriormente se realiza una descripción del conjunto de datos facilitados por la caja de compensación familiar colombiana. Finalmente se presentan los resultados obtenidos, las conclusiones y las recomendaciones para trabajos futuros.

2. Evaluación de riesgo de crédito por modelos probabilísticos

La gestión de riesgo de crédito permite a las entidades asegurar de la mejor forma su posible inversión enfocada en los clientes reduciendo el riesgo de castigo de cartera, como lo describen Anderson (2007) y Rodríguez et al. (2017) esta gestión requiere de la implementación de un proceso que va desde la evaluación crediticia de los individuos, hasta la recuperación y la pérdida de la cartera; para ello, el marco general de los procesos de riesgo de crédito involucra la vinculación, la medición, la cobranza, la cobertura y el seguimiento. Y es justamente en el proceso de medición que la modelación del *Credit Score* permite dar un valor de identificación en la mayoría de las veces porcentual a un cliente por sus variables socioeconómicas que identifican si puede o no generar riesgo de impago (basado en respuestas binarias) al mismo portafolio.

La implementación, los parámetros y las condiciones de los modelos de *Credit Score* como lo describen Melo-Velandia y Becerra-Camargo (2005), Saavedra-García y Saavedra-García (2010), Abdou y Pointon (2011), Rodríguez et al. (2017) están sujetos a la naturaleza de la base de datos de los clientes o afiliados; son estos últimos los que determinan qué signo o qué camino van a tomar los análisis de variables según se constituya la información de las entidades analizadas, e incluso, el hecho que existan tipos de personas (personas naturales o jurídicas) en los análisis, puede afectar los resultados esperados, pero que pueden ser justificados ampliamente con previo estudio de dichas variables. Es por esto por lo que Basilea II y Basilea III dan libre albedrío al uso de la metodología de análisis a fin de llegar a un resultado que favorezca tanto a la entidad como al afiliado, siempre y cuando se tengan en cuenta las condiciones de las variables, las políticas empresariales y los objetivos del análisis de riesgo que se desea desarrollar.

Sobre su evolución metodológica, los análisis de *Credit Score* se pueden distribuir en tres etapas de tiempo. El primero comprende los inicios de los modelos de análisis discriminatorio (desde los años 30 hasta los años 60), que son modelos de riesgo post guerra aplicados a la medición de probabilidad de bancarrota de entidades bancarias tomando en cuenta variables de rubro empresarial, como así lo demuestran los trabajos de Fisher (1936) y Myers y Forgy (1963).

La segunda etapa se inicia con Altman (1968) que abordó mejoras en los procesos anteriores, identificando por medio de LDA (Linear Discriminatory Analysis) un modelo lineal que entrega un puntaje de referencia para quiebras (Z-Score) por medio de análisis parámetrico. Este fue el inicio de los modelos de *Credit Score* que se convirtieron con el tiempo en modelos específicos para la medición de riesgo de crédito para clientes. Posteriormente Orgler (1970), Apilado et al. (1974) y Altman (1980)

demostraron que dichos modelos lineales son eficientes en la revisión de los parámetros adicionando la probabilidad de éxito (usando variables dicotómicas) y variables socioeconómicas a los modelos para determinar el riesgo de impago de un afiliado de carácter natural a los análisis.

El tercer escenario se puede mencionar en los estudios que se enfocan en los procesos de exploración de modelos paramétricos similares, como lo demuestran Rodríguez et al. (2017), desarrollados en su mayoría por Glorfeld (1990), Lipovetsky y Conklin (2004), Roszbach (2004), Gonçalves y Braga (2008), Olagunji & Ajiboye (2010), Constangioara (2011), Melo & Granados (2011), Mures et al. (2011), Palacio et al. (2011), Webster (2011), Chaudhuri y Cherical (2012), Puertas y Marti (2012), Moreno (2013), Rodríguez y Trespalacios (2015) y Trejo et al. (2017) los cuales trabajan con modelos Logit, Probit, Tobit, Multinomiales, Logit Mixtos, Modelos Lineales Probabilísticos (MLP), Modelos Lineales Discriminatorios (LDA), Modelos Least - Absolute - Value (LAV), que tienen como elemento práctico ser fáciles de recrear, analizar y operar.

Así mismo, como una variante de este último escenario a su vez, los modelos no paramétricos muestran una diferencia sustancial con los trabajos de Desai et al. (1996), Zhai & Russell (1999), Pérez y Fernández (2007), Sustersic et al. (2007), Zhou et al. (2009), Martens et al. (2010) y Soydaner y Kocadağlı (2015) que usan métodos de minimización de error por iteración y creación generacional a fin de encontrar el mejor modelo aplicado. Para estos trabajos se encuentran modelos de redes neurales de tipo genético, modelos de Fuzzy Logic, Support Vector Machines, arboles binomiales y modelos híbridos como modelos CART o modelos de segmentación CHAID.

3. Metodología aplicada

La modelación econométrica de riesgo de crédito aplicada está basada en el desempeño histórico de una canasta de afiliados que en términos de Anderson (2007) y Hosmer et al. (2013) se pueden realizar con tiempo estático asumiendo que todos los usuarios de dicha base de información son clientes activos inmediatos de una entidad por evaluar. Los enfoques elegidos para determinar un modelo apropiado discriminatorio binomial se soportarán de modelos Logit, Probit, redes neuronales y Linear - Support Vector Machine como se observan en trabajos de estilo comparativo de Akkoç (2012) o de Moreno y Melo (2011) que usan criterios estadísticos de bondad de ajuste para medir qué modelo fue óptimo comparativamente. Para esta selección, se tendrán en cuenta los criterios de bondad de ajuste adecuados por Hosmer et al. (2013), Anderson (2007) y Moreno y Melo (2011) para el manejo y elección del modelo óptimo.

3.1 Análisis estadístico previo

Para garantizar una calibración sin sesgo, es indispensable usar los criterios descritos por Anderson (2007), donde se realiza una previa revisión estadística de las variables socioeconómicas presentes en la base de datos con la que se realiza el modelo. Para ello, se requiere como insumo básico la información de los clientes o afiliados, verificando que exista una cantidad de clientes que identifiquen el criterio actual de calificación de crédito, ejecutado con la mayor cantidad de variables que lo describan; esta información proviene de la institución financiera analizada. Una vez obtenida la información, se realiza una revisión de estadística descriptiva en variables cuantitativas y cualitativas, a fin de establecer si las series presentan datos atípicos que deban ser corregidos, o es posible identificar el tipo de distribución que posea cada variable; adicionalmente, estos análisis son útiles para hacer transformaciones a las series de variables cuantitativas para contemplar reducción de información o cambios de estructura en su análisis y pasarlas a variables cualitativas. Frente a los análisis de series cualitativas, solo se requiere identificar el porcentaje que corresponde cada categoría de la variable analizada frente a la variable Y_i. Estos análisis en conjunto permiten identificar la naturaleza del signo esperado en la modelación según la naturaleza de la base de información.

Posteriormente, es necesario realizar un análisis de correlación o colinealidad de todas las variables incluyendo a la variable Y_i, para ello, Anderson et al. (2008) sugieren realizar análisis de correlación de Pearson para variables cuantitativas; si las variables presentan alto nivel de correlación se sugiere eliminar dichas variables. Respecto a las variables cuantitativas Taylor y Chappell (1980) sugieren una variante de análisis de correlación para variables categóricas conocida como lambda (λ) de Goodman- Kruskal. Una vez identificadas las variables con bajo nivel de similitud, se identifica por medio de gráficas de análisis jerárquico y dendogramas la importancia de dichas variables según su respuesta frente a la variable Y_i,, una herramienta útil para verificar la idoneidad en la significancia estadística de cada variable previa a la calibración de los modelos.

3.2 Modelo LOGIT

Los modelos Logit realizan la transformación de un modelo lineal probabilístico multivariado de tal forma que la probabilidad de impago del afiliado esté acotada entre valores de cero y uno; esto se logra a través de una distribución logística estándar o sigmoide. Si P_i es la probabilidad de impago del afiliado i y puede ser descrita por un modelo tipo Logit, puede ser calculada con la ecuación [1], con $x_{1i}, x_{2i}, \dots, x_{ki}$ las variables que explican el comportamiento de pago del afiliado.

$$P_i(Y = 1 \mid X_{ik}) = \frac{1}{1 + e_i^{-z_i}};\ z_i = \beta_0 + \beta_1 x_{1i} + \beta_2 x_{2i} + \cdots + \beta_k x_{ki} \qquad [1]$$

Los parámetros $\beta_1, \beta_2, \dots, \beta_k$ explican la sensibilidad de incremento o decremento del riesgo que tiene el movimiento de cada variable explicativa sobre la probabilidad de pago. Un valor positivo de β_i implica que, cuando la variable x_i aumenta para el individuo i, aumenta la probabilidad de impago del individuo i.

3.3 Modelo PROBIT

Como los modelos Logit, los modelos Probit transforman un modelo lineal probabilístico a través de una transformación de distribución de probabilidad acumulada en una distribución normal estándar. Si P_i es la probabilidad de impago del afiliado i y puede ser descrita por un modelo tipo Probit y puede ser calculada con la ecuación [2], con $x_{1i}, x_{2i}, \dots, x_{ki}$ las variables que explican el comportamiento de pago del afiliado.

$$\begin{aligned} P_i(Y = 1 \mid X_{ik}) = F(x) &= \frac{1}{\sqrt{2\pi\sigma_I^2}} \int_{-\infty}^{I_i} e^{\frac{Z^2}{2\sigma^2}}\, dZ;\ I_i \\ &= \beta_0 + \beta_1 x_{1i} + \beta_2 x_{2i} + \cdots + \beta_k x_{ki} \end{aligned} \qquad [2]$$

Similar a la condición en los modelos tipo Logit, los parámetros $\beta_1, \beta_2, \dots, \beta_k$, en el modelo Probit, explican el aporte que tiene el movimiento de cada variable explicativa sobre la probabilidad de impago. Un valor positivo de β_i implica que, cuando la variable x_i aumenta, para el individuo i, aumenta la probabildad de impago del individuo i.

3.4 Modelo de Red Neuronal (RN)

Este modelo hace uso de una red con centroide logístico con número de capas y número de nodos variables. En la ecuación [3] se presenta la especificación matemática para una red neuronal de una capa que define la probabilidad de impago de un afiliado $f_k(x)$, a partir de N variables exógenas x_i. En la ecuación [3], α representa el cambio de nivel, $\mathrm{w_{ik}}$ son los parámetros de peso que y f_0 la función de transformación.

$$f_k(x) = f_0\left(\alpha + \sum_{i=1}^{N} \mathrm{w_{ik}}\, x_i\right) \quad [3]$$

3.5 Linear Support-vector Machine - L-SVM

Esta representación, que se muestra en la ecuación [4], se corresponde con un clasificador. Este algoritmo entrega el hiperplano óptimo para segmentar la muestra. En la ecuación [4], w es un vector que contiene los pesos, x es una matriz (que tiene tantas filas como observaciones y tantas columnas como variables) que contiene las N variables exógenas con todas sus observaciones y b elvector de intercepto. El resultado obtenido del hiperplano y del signo define la posición de la variable dicotómica ajustada: se define $+1$ para identificar las personas que generan impago, -1 para identificar las personas que no lo generan.

$$y(x) = sign(w^T x + b);\ \begin{cases} w^T x + b \geq +1, si\ y_k = +1 \\ w^T x + b \leq -1, si\ y_k = -1 \end{cases} \quad [4]$$

3.6 Estimación y calibración de los modelos

El proceso de estimación utiliza dos conjuntos de datos, el primero se denomina datos de entrenamiento (Train data) y el segundo, datos de verificación (Test data), coherente con las propuestas realizadas por Hosmer et al. (2013) y Moreno (2013). El conjunto de entrenamiento que corresponde con el 80% de las observaciones disponibles, es seleccionado de forma aleatoria y utilizado para estimar los parámetros del modelo; mientras que el 20% restante de la información pertenece al conjunto de verificación, con el que se hace la validación del desempeño del modelo estimado.

Con el conjunto de entrenamiento, para los modelos Logit, Probit se selecciona el conjunto de variables explicativas utilizando el proceso "*Stepwise - backforward*" que permite agregar cada variable e internamente se analiza con criterios de información AIC y BIC (Akaike y Schwartz) cuyo resultado es que el mejor modelo corresponde al de menor valor. En el caso de la red neuronal y el L-SVM, el conjunto de entrenamiento es utilizado no solo para estimar los pesos del modelo sino también para obtener el numero óptimo de nodos y número de capas, mediante un proceso de análisis iterativo que permita así mismo encontrar el menor valor de criterio de información.

Los modelos óptimos presentan variables totalmente significativas y que no muestran coeficientes excesivamente sensibles; si esto se presenta significa que la calibración del modelo todavía presenta variables colineales con la variable Y_i. En algunos casos, las variables cualitativas, al tener varias categorías, pueden presentar categorías con más datos que otras, afectando su significancia individual en la prueba de Wald, pero no afectando su significancia en el modelo; para ello se somete al análisis de criterios de información AIC - BIC con el fin de conocer el impacto de la variable en el modelo y posteriormente ordenar las categorías evidenciando su real significancia individual.

3.7 Análisis de bondad de ajuste de los modelos estimados

Para el análisis de bondad de ajuste de los modelos *Credit Score*, Hosmer et al. (2013) y Anderson (2007) sugieren el uso de la curva AUC-ROC (Area Under the Curve of Reciever Operating Characteristic), el coeficiente de GINI y la matriz de confusión ("*confusión matrix*") y determinan los valores de aceptación críticos. Por ejemplo, en términos de desempeño de la función discriminante de un modelo de *Credit Score.* Hosmer et al. (2013) establece que el valor mínimo del AUC para que el modelo sea aceptado es del 80%. Un criterio similar para la evaluación del desempeño de los modelos de *Credit Score* es el coeficiente de GINI, entendido como una métrica de variable real definida en el intervalo [0,1], donde 0 se refiere a un modelo totalmente aleatorio en la discriminación y 1 un modelo que discrimina la información de forma perfecta. Por otro lado, la matriz de confusión permite medir la capacidad que tiene el modelo para clasificar verdaderos positivos y verdaderos negativos a través de

la sensibilidad y la especificidad respectivamente. Cuanto más se aproximen estas métricas al 100%, mejor desempeño presenta el modelo estimado.

4. Aplicación y resultados

El siguiente apartado muestra el proceso de desarrollo de los modelos estimados desde la elección de variables, hasta la resolución de elección del modelo óptimo para la base de clientes analizada.

4.1 Descripción de los datos

La información obtenida para este estudio corresponde a la cartera de afiliados del año 2018, compuesta por 13.091 registros de personas naturales con clientes activos hasta ese año, de una Caja de Compensación Familiar del departamento de Caldas en la República de Colombia. Con el ánimo de identificar la relevancia de las variables sobre el comportamiento de cultura de pago de los afiliados, se trabaja con las siguientes variables: el plazo de la deuda, la tasa de interés pactada, el tiempo laboral, la edad de la persona, el score interno, el índice de rotación y el número de personas a cargo, que aparecen en la Tabla 1. Respecto a las variables cualitativas se encuentran: producto, tipo de trabajo, tamaño de la empresa a la que está vinculado el afiliado, nivel educativo, estado civil, score en CIFIN (entidad que evalúa la historia crediticia de las personas en todo el sistema financiero colombiano), nivel de salario, franja de morosidad, agencia, tipo de vivienda, tipo de contrato, calificación de provisión y estrato. La asignación de categorías a cada una de estas variables se presenta en la Tabla 2.

Tabla 1. Estadística descriptiva información cuantitativa.

	Variable	min	max	mean	std.dev	coef.var
Información total	Plazo	1	96	32.84	20.7	0.63
	Tasa de Interés	5.2	25.2	16.98	4.15	0.24
	Tiempo Laboral	0	415.6	76.5	75.16	0.98
	Edad	19	82	39.42	9.07	0.23
	Score Interno	0	95	65.46	17.3	0.26
	Índice Rotación	0	1	0.21	0.17	0.82
	Personas a Cargo	0	8	1.76	1.33	0.76
	Tipo de Afiliación	0	443	69.89	74.12	1.06
Información de afiliados que generaron riesgo	Plazo	1	96	23.02	15.59	0.67
	Tasa de Interés	5.8	24	17.42	3.49	0.2
	Tiempo Laboral	0	361.3	30.99	53.2	1.71
	Edad	20	82	38.85	9.38	0.24
	Score Interno	0	90	36.21	32.44	0.89
	Índice Rotación	0	1	0.34	0.28	0.81
	Personas a Cargo	0	6	0.57	1.11	1.94
	Tipo de Afiliación	0	387	45.77	51.6	1.12

Nota: Los siguientes son las descripciones de las variables en su orden. 1. Plazo, tiempo acordado por las partes para amortizar el crédito (en meses). 2. Tasa de Interés, tasa acordada por la entidad (efectiva anual). Tiempo Laboral, tiempo de trabajos consecutivos en la empresa (en meses). 4. Edad, años de vida del afiliado. 5. Score Interno, calificación de créditos anteriores de la entidad del afiliado. 6. Índice de Rotación, es la rotación laboral descrita por la entidad del afiliado. 7. Personas a Cargo, cantidad de personas que dependen del afiliado. 8. Tipo de Afiliación del afiliado a la entidad. Estas son variables de real importancia para el estudio y se omiten las estadísticas de las variables descartadas posteriormente en la figura 1b.

Fuente: Elaboración propia.

Tabla 2. Estadística descriptiva información cualitativa y porcentaje de impagos por categoría.

Categoría	Total	Si R	%	No R	%	Categoría	Total	Si R	%	No R	%
Producto						Franja de Morosidad					
Familiares	6955	494	7	6461	93	Al día	11782	0	0	11782	100
Educación	2422	237	10	2185	90	1_30	367	0	0	367	100
Vivienda	1450	78	5	1372	95	31_60	89	89	100	0	0
Compra cart	1386	33	2	1353	98	61_90	55	55	100	0	0
Salud	440	21	5	419	95	91_180	90	90	100	0	0
Recreación	183	8	4	175	96	181_360	122	122	100	0	0
(Otro)	255	71	28	184	72	360_mas	586	586	100	0	0
Tamaño Empresa						Tipo de Vivienda					
Grande	6281	349	6	5932	94	Alquiler	3866	376	10	3490	93
Mediana	3245	168	5	3077	95	Familiar	4915	346	7	4569	91
Pequeña	2783	274	10	2509	90	Propia	4269	181	4	4088	85
Micro	782	151	19	631	81	Sin_info	41	39	95	2	89
Nivel Educativo						Agencia					
Ninguno	21	1	5	20	95	Manizales	10689	706	7	9983	93
Primaria	756	100	13	651	87	Chinchiná	537	49	9	488	91
Secundaria	5790	497	9	5235	91	La Dorada	534	82	15	452	85
Pregrado	3230	166	5	3048	95	Riosucio	383	44	11	339	89
Tecni/tecn	2817	133	5	2666	95	Villamaría	255	13	5	242	95
Postgrado	536	8	1	527	99	Supia	198	21	11	177	89
Sin_info	39	37	95	2	5	(Other)	495	27	5	468	95
Estado Civil						Tipo Contrato					
Casado	3271	178	5	3093	95	Carre_adm	636	20	3	616	93
Separado	332	17	5	315	95	Obra labor	2131	400	19	1731	91
Soltero	5476	361	7	5115	93	Otros	230	49	21	181	85
Unión libre	3976	383	10	3593	90	Term fijo	5275	346	7	4929	89
Viudo	36	3	8	33	92	Term ind	4819	127	3	4692	85
Score CIFIN						Tipo de Empresa					
< 400	1301	176	14	1125	86	Publica	1586	80	5	1506	95
400-699	900	121	13	779	87	Privada	10986	733	7	10253	93
> 700	2063	109	5	1954	95	Mixta	263	2	1	261	99
sin_info	8827	536	6	8291	94	sin_info	256	127	50	129	50
Calificación provisión crediticia						Estrato Social					
A	12145	0	0	12145	93	e0	126	14	11	112	93
B	91	87	96	4	91	e1	1691	122	7	1569	91
C	56	56	100	0	85	e2	4751	301	6	4450	85
D	91	91	100	0	89	e3	4127	182	4	3945	89
E	708	708	100%	0	85	e4	641	17	3	624	85
Categoría Salario Afiliado						e5	142	3	2	139	83
< 2 SMLV	9833	865	9	8968	91	e6	106	3	3	103	81
2-4 SMLV	2552	62	2	2490	98	sin_info	1507	300	20	1207	80
> 4_SMLV	706	15	2	691	98						

Nota: Los siguientes son las descripciones de las variables en su orden. 1. Producto, refiere al producto crediticio obtenido. 2. Franja de Morosidad, muestra el tiempo que ha tenido un afiliado i en demora de pago. 3. Tamaño Empresa, se refiere al tamaño empresarial decreto 957/2019 en donde trabaja el afiliado i. 4. Tipo Vivienda, indica el tipo de residencia del afiliado i. 5. Nivel Educativo, muestra el nivel educativo alcanzado por el afiliado. 6. Agencia, sede donde se firma el contrato de préstamo del afiliado. 7. Estrato Civil, estrato civil del afiliado. 8. Tipo de Contrato, Tipo de contrato actual del afiliado. 9. Score CIFIN, muestra el calificativo manejado por CIFIN (Central de Información Financiera). 10. Tipo de Empresa. Tipo de sociedad según propiedad de capital. 11. Calificación Provisión Crediticia, se refiere a la calificación crediticia dada por una entidad de riesgos. 12. Estrato, estrato social en el que reside el afiliado.

Fuente: Elaboración propia.

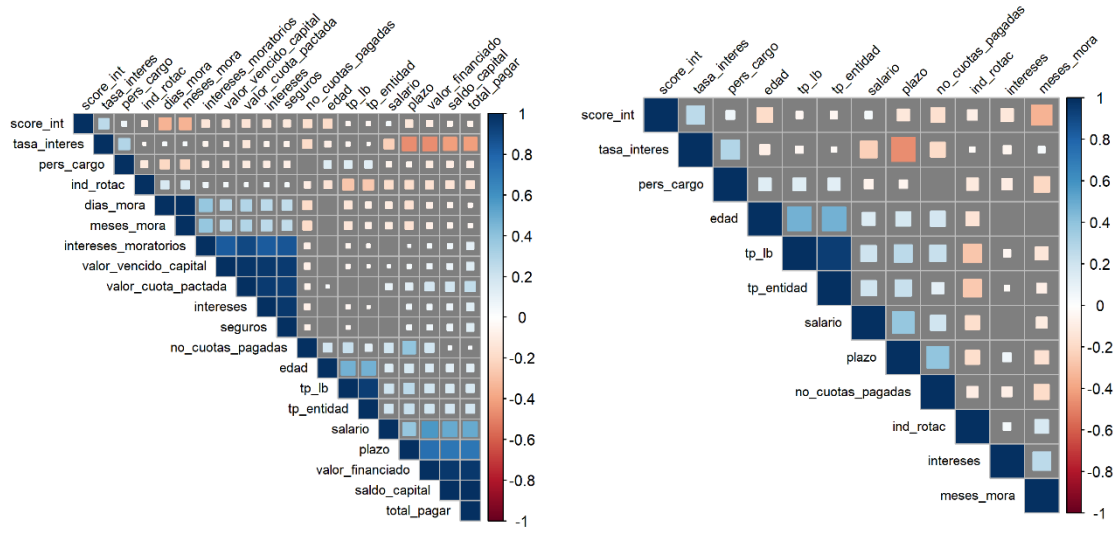
4.2 Análisis estadístico previo (elección de variables optimas)

Para el desarrollo de este apartado, se secciona el análisis en dos estadíos, siendo el estadío 1) el análisis devariables cuantitativas. Para este procedimiento se efectúa el análisis de correlación de Pearson de variables descrito en la metodología y cuyos resultados se aprecian en la Figura 1.a: las variables que presentaran valores superiores a |0.5| fueran nuevamente revisados y posteriormente descartados verificando su relación entre sí. Las variables que no tienen amplios niveles de correlación se presentan en la Figura 1.b.

Se debe aclarar entonces que las variables meses de mora y score interno, solo presentan correlación nominal, no estructural, debido a que trabajan inversamente según el tiempo que tenga el afiliado en vigencia en la entidad, lo que las hace similares y, por tanto, no se deben excluir mutuamente; lo mismo sucede con el plazo y la tasa de interés, que parece mostrar una correlación negativa (a mayor plazo, menor tasa de interés).

El estadío número 2) hace referencia al análisis de variables cualitativas. Para determinar la correlación en las variables cualitativas se utiliza la lambda (λ) de Goodman - Kruskal, que consiste en un método similar de correlación basándose en tablas de contingencia, usando los mismos valores de correlación [−1,1]. Las variables que se descartan por su alta correlación entre ellas son: franja de morosidad, calificación de provisión, calificación interna afiliado, forma de pago, estado del saldo y agencia y zona, como se muestra en la Tabla 3.

Figura 1. Graficas de correlaciones entre variables cuantitativas.



(a) (b)

Fuente: Caja de compensación Familiar (2019).

Para finalizar el proceso de elección de variables, se vuelve a establecer una prueba de correlación de lambda (λ) de Goodman – Kruskal, para las variables cuantitativas y cualitativas depuradas para verificar una posible correlación entre los tipos de variables. A partir de este se encuentra que las variables óptimas para los modelos son: Agencia, Clasificación salarial afiliado, Edad, Educación, Estado civil, Estado de la empresa, Estrato, Forma de pago, Género, Índice de rotación, Personas a Cargo, Plazo, Producto, Score CIFIN, Score Interno, Tamaño de empresa, Tiempo laboral, Tipo de contrato, Tipo de empresa y Tipo de vivienda.

Tabla 3. Correlación entre variables cualitativas.

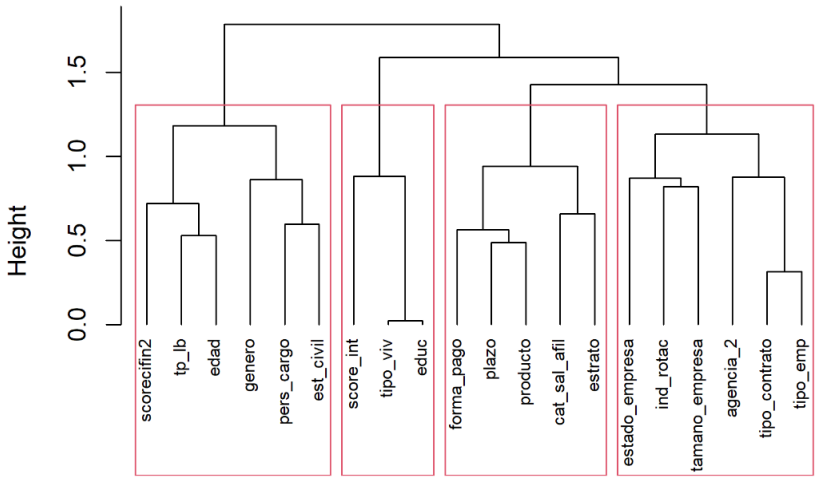
Variables	Zona	Franja Morosidad	Calificación provisión	Calificación interna	Estado Saldo	Forma Pago	Y_i
Franja Morosidad			99%	58%	93%		100%
Calificación provisión		62%		58%	92%		100%
Calificación interna		40%	64%		72%		74%
Estado Saldo		45%	74%	53%			75%
Agencia	100%						
Rango Financiado						60%	

Nota: Las celdas en blanco referencian valores inferiores a 50% de correlación. Solo se muestran las variables que reflejaron valores superiores a 50%.

Fuente: Elaboración propia.

Por medio del dendograma de jerarquización de información, que permite visualizar el nivel de importancia de las variables, en su orden el primer grupo de variables se compone de tipo de contrato, tipo de vivienda, educación, score interno y estado de la empresa; el segundo grupo se compone de estado civil, tamaño de la empresa, tiempo laboral, edad y score CIFIN; el tercer grupo incluye agencia / zona, estrato social, personas a cargo y género; y el cuarto grupo se compone de forma de pago, plazo, producto, índice de rotación, categorial salarial del afiliado y tipo de empresa, esto con el fin de identificar qué variables tienen un impacto importante en los parámetros del modelo y así descartar los que estadísticamente no cumplan condiciones de calibración.

Figura 2. Dendograma de las variables, proceso de jerarquización de variables.



Fuente: Caja de compensación Familiar (2019).

4.3 Estimación y resultados de los modelos

De la información suministrada con 13,091 registros, con el 7.19% de estos representando afiliados en condiciones de no pago de sus obligaciones -*Default*. La Tabla 4 muestra cómo esta información se divide en proporción 70%/30% para identificar la serie de información aleatoria del "Data Train" y del "Data Test" para calcular y probar la eficacia de los modelos.

Tabla 4. Datos usados para realizar el estudio de los modelos.

Data	No Default	Default	Total
N	12149	942	13091
Train Data	8513	649	9162
Test Data	3636	293	3929

Fuente: Caja de compensación Familiar (2019).

Respecto a los resultados de los modelos, la Tabla 5 muestra los resultados de los parámetros de las variables evaluadas en cada tipo de modelo. Se evidencia que, en su mayoría las variables identificadas previamente para los modelos paramétricos fueron eficientes, identificando que las variables: educación, tipo de vivienda y zona no son significativas y se pueden descartar; sin embargo, en el caso de los modelos No Paramétricos, todas las variables muestran efecto de manejo.

Tabla 5. Modelos Calibrados con Train Data.

Variables	Categoría	Logit		Probit		L-SVM	Neural Network	
		$\hat{\beta}$	P-value	$\hat{\beta}$	P-value	W	Hidden1	Hidden2
Intercept		5.095	0.000	2.088	0.000	-0.13	1.423	0.739
Categoría Salarial	Hasta_2_smlv	-----	-----	0.222	0.027	2904.94	1.343	0.253
Afiliado	Mas_4_smlv	-----	-----	-0.079	0.722		-11.915	0.061
Edad		-0.014	0.041	-----	-----	57035.06	-6.144	-0.185
Educación	Posgrado	-----	-----	-----	-----	6891.65	3.383	2.685
	Pregrado	-----	-----	-----	-----		9.461	-1.712
	Primaria	-----	-----	-----	-----		16.235	-2.024
	Secundaria	-----	-----	-----	-----		-6.056	-1.855
	Técnico/tecnólogo	-----	-----	-----	-----		-0.081	-1.832
Estado civil	Casado	-0.247	0.145	-0.145	0.072	4581.49	4.519	0.231
	Soltero	-0.834	0.000	-0.440	0.000		-5.591	0.314
	Separado	-1.151	0.006	-0.698	0.001		15.747	0.106
	Viudo	-0.332	0.709	-0.271	0.547		8.622	-0.124
Estrato social	0	-0.156	0.735	-0.104	0.658	5246.04	-5.138	-1.636
	1	-0.810	0.000	-0.440	0.000		6.394	-0.04
	2	-0.904	0.000	-0.456	0.000		-0.726	0.307
	3	-0.981	0.000	-0.512	0.000		5.872	0.292
	4	-1.050	0.005	-0.497	0.005		-9.65	0.396
	5	-1.558	0.145	-0.866	0.112		-5.847	0.453
	6	-1.199	0.124	-0.605	0.138		6.427	0.41
Género	Masculino	0.621	0.000	0.302	0.000	2390.03	12.415	-0.443
Índice Rotación		0.705	0.019	0.412	0.008	433.78	21.006	2.983
Personas a cargo		-0.926	0.000	-0.449	0.000	1354.14	8.468	2.042
Plazo		-0.060	0.000	-0.028	0.000	32441.2	-10.791	-3.67

Producto	Compra cartera	-0.427	0.224	-0.229	0.209	4888.56	-2.831	-0.08
	Educación	-0.638	0.017	-0.370	0.009		-12.471	0.259
	Familiares	-0.868	0.000	-0.490	0.000		-6.7	0.284
	Recreación	-2.212	0.003	-1.108	0.003		4.74	-0.135
	Salud	-1.175	0.004	-0.660	0.002		1.096	0.677
	Vivienda	-1.022	0.001	-0.599	0.000		5.97	0.213
Score Interno		-0.055	0.000	-0.028	0.000	96137.45	-7.12	4.424
Score CIFIN	Menor_400	1.000	0.000	0.488	0.000	2470.03	6.074	-0.442
	400_699	1.012	0.000	0.523	0.000		-11.394	-0.422
	Mayor_700	0.707	0.000	0.340	0.000		-2.14	-0.021
Tamaño Empresarial	Pequeña	-0.498	0.011	-0.268	0.008	3453.98	-0.411	0.088
	Mediana	-0.723	0.000	-0.416	0.000		0.603	0.034
	Grande	-0.540	0.004	-0.288	0.003		-13.474	-0.179
Tasa de Interés		0.090	0.000	0.045	0.000	26341.6	-4.914	0.346
Tipo Contrato	Obra labor	1.988	0.000	1.015	0.000	4901.13	34.197	2.98
	Carrera admón.	0.503	0.220	0.323	0.105		1.755	-0.601
	Término fijo	0.928	0.000	0.445	0.000		1.949	-0.035
	Otros	0.794	0.083	0.361	0.104		3.65	-0.19
Tipo Empresa	Público	-0.622	0.064	-0.295	0.099	4110.12	-1.516	0.498
	Privado	-1.250	0.000	-0.684	0.000		8.456	-0.008
	Mixto	-1.871	0.057	-0.969	0.039		18.983	0.101
Tipo Vivienda	Alquiler	-----	-----	-----	-----	4272.61	-6.028	0.375
	Familiar	-----	-----	-----	-----		-2.257	2.671
	Propia	-----	-----	-----	-----		13.453	2.562
Tiempo en Entidad		0.012	0.000	0.006	0.000	62140.57	-14.484	-0.365
Tiempo Laboral		-0.023	0.000	-0.011	0.000	55861.3	-3.64	-2.751
Zona	Centro sur	-----	-----	-----	-----	4603.82	-12.737	-0.13
	Manizales	-----	-----	-----	-----		4.197	0.331
	Norte	-----	-----	-----	-----		-22.269	0.449
	Occidente	-----	-----	-----	-----		15.817	0.478
	Oriente	-----	-----	-----	-----		18.231	-0.136
	Sur occidente	-----	-----	-----	-----		-10.083	0.542
AIC		2470.2		2504.9		2387.3	2540.3	
BIC		2755.1		2796.9		2101.6	2674.5	

Nota: Las variables están en orden alfabético y no por tipo de variable (cuantitativa/cualitativa). Para los modelos Logit y Probit se presenta el modelo estimado por "Stepwise Brack-forward". Los parámetros con "-----" muestran que la variable no tuvo significancia alguna en el modelo.

Fuente: Elaboración propia.

Respecto a los parámetros de los modelos Logit y Probit se encuentra que algunos signos parecen ser contraintuitivos como lo fueron las variables plazo solicitado o tiempo de afiliación en la entidad,

pero estos signos los determina la base de información de afiliados en la entidad. Por ejemplo, el plazo de pago de los créditos es inverso: por evidencia empírica (sustentada en la Tabla 1) los clientes de esta entidad tienen mejores comportamientos de pago a largo plazo que a corto plazo. Así mismo, el tiempo de afiliación en la entidad muestra dos elementos propios de este tipo de entidades: 1) Al ser una entidad del sector cooperativo y no comercial tiene preferencias sobre los afiliados más antiguos y pueden tomar medidas laxas al momento de crear un crédito. 2) El sector cooperativo no visiona a sus afiliados como "clientes" mostrando políticas diferenciales sobre el proceso de la toma de decisión del comité de crédito.

Los resultados de bondad de ajuste se presentan en la Tabla 6, teniendo los siguientes criterios. Respecto al indicador AUC-ROC el modelo que presenta el mejor criterio es el modelo L-SVM, pero, los modelos paramétricos no difieren mucho del valor presentado de este indicando que si bien presentan menor eficiencia son ciertamente similares. Solamente el resultado de la red neuronal muestra una eficiencia inferior a los demás modelos. Respectivamente el coeficiente de Gini muestra resultados similares al AUC-ROC; el modelo con mejor explicación corresponde al L-SVM, secundado por el modelo Probit, esto muestra que la diferencia entre ambos modelos en términos predictivos no es sensible y discriminativa.

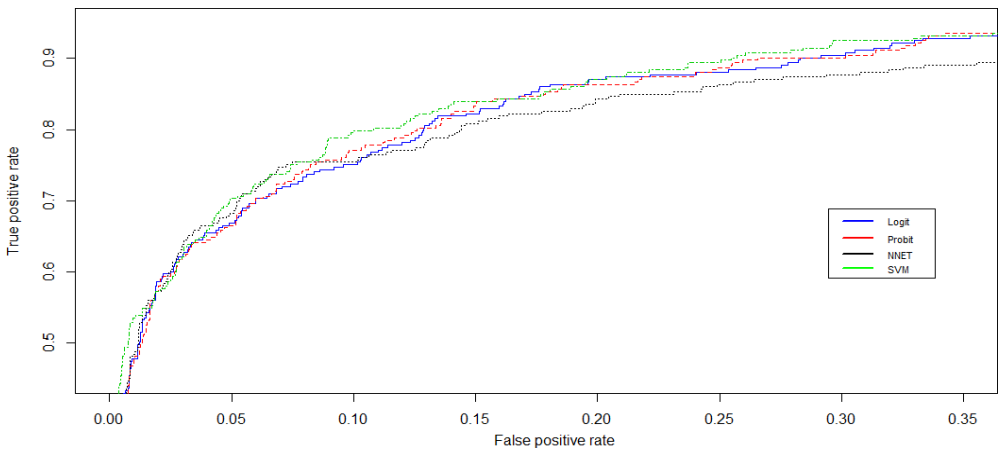
Los modelos paramétricos muestran una mayor estabilidad en la lectura de los indicadores de especificidad y sensibilidad venidos de la tabla de confusión; en contraste, los modelos no paramétricos presentan una mayor estimación sobre los valores de no riesgo (especificidad), si bien esto no representa un problema real, sí refleja que los modelos no paramétricos requieren de una serie de información más ecuánime para arrojar predicciones más estables. Este efecto también se puede evidenciar en la Figura 3 en la que los modelos L-SVM son mucho más eficientes, pero claramente no se diferencian de los modelos Logit o Probit.

Tabla 6. Indicadores de desempeño de los modelos.

	AUC-ROC	Gini	Especificidad	Sensibilidad	AIC	BIC
Logit	91.51	83.02	87%	82%	2470.2	2755.1
Probit	91.65	83.30	85%	84%	2504.9	2796.9
L-SVM	92.02	84.04	91%	79%	2387.3	2101.6
Red Neuronal	89.17	78.34	96%	78%	2540.3	2674.5

Fuente: Caja de compensación Familiar (2019).

Figura 3. Curvas AUC-ROC de los modelos.



Fuente: Caja de compensación Familiar (2019).

Respecto a la elección del modelo óptimo para la entidad, se establecen los criterios cualitativos del estudio de Moreno y Melo (2011); se encuentra que los modelos Logit y Probit son mucho más sencillos de leer debido a que estos se pueden transformar a lectura porcentual con el método de marginalización de parámetros, mientras que los pesos de los modelos Red Neuronal y L-SVM, cuyos valores solo identifican una capacidad de repetición, no tienen una interpretación definible o entendible.

Respecto al criterio de sencillez, los modelos probabilísticos son más prácticos y directos que los modelos Red Neuronal y L-SVM, tanto en su construcción como en su aplicación: para los modelos paramétricos estos valores son fácilmente replicables en software de uso común, en cambio los procesos de L-SVM y Red Neuronal mantienen un proceso oculto cuya programación se vuelve compleja en entornos sencillos. Finalmente, frente a la flexibilidad, los modelos Logit y Probit tienen desventaja debido a que su proceso es estático y deben ser reestimados según el corto o medio plazo, así mismo los modelos de redes neuronales poseen este mismo inconveniente y teniendo en cuenta que cuanta más información se suministre a futuro, estos tienden a sobreestimarse generando inconsistencia en los resultados. Ahora bien, los L-SVM son altamente flexibles al agregar nueva información, pero sigue siendo un proceso no visible y que requiere un reentrenamiento inmediato de los datos cada vez que se ingrese una unidad.

Con los anteriores criterios se infiere que los modelos L-SVM no son los más adecuados en aplicarse en los estudios de créditos de la entidad así sus resultados hayan sido óptimos estadísticamente, pues, no generaron criterios de especificidad y sensibilidad mejores que los modelos Logit o Probit y su manejo post calibración, por tanto, los modelos más estables para esta entidad pueden ser los modelos Logit o Probit. Estableciendo esto, se decide realizar un último análisis de estabilidad la serie Test Data para establecer cuál de estos puede ser más estable en diferentes niveles de series de información. En la Tabla 7 se muestra cómo los modelos Probit en una prueba de stress con porcentajes de datos aleatorio se ve cómo maneja mayor estabilidad que los modelos Logit, sosteniendo mejor la sensibilidad y especificidad.

Tabla 7. Análisis de estabilidad con testeo aleatorio de "Test Data" en porcentaje (%).

		5%	10%	15%	20%
Logit	AUC-ROC	94.48	95.21	89.24	91.95
	Especificidad	90.25	89.75	87.56	87.90
	Sensibilidad	86.96	86.92	77.27	82.99
Probit	AUC-ROC	94.31	94.96	89.18	92.18
	Especificidad	81.98	90.00	88.27	89.39
	Sensibilidad	93.48	86.92	78.03	80.93

Fuente: Caja de compensación Familiar (2019).

4.4 Discusión de los resultados obtenidos.

El anterior trabajo es una aplicación ejercida en una Caja de compensación Familiar en Colombia, dichas entidades que se enmarcan en el sector cooperativo son muy conocidas en el país, pero no tienen un símil perfecto en otros países. Los trabajos que se pueden acercar en términos del objeto de estudio son aquellos que desarrollan análisis de Credit score en cooperativas financieras basándose en el tratamiento de los "afiliados" como lo son los trabajos que se utilizaron como base para crear la metodología, tales como Salazar (2013), Ochoa et al. (2010), Moreno (2013) y Moreno y Melo (2011).

La primera consideración destacable en contraste de los trabajos revisados concierne a los resultados de los modelos estimados en los trabajos anteriores. En el caso de Salazar (2013) se presenta un enfoque a los modelos Logit, en el caso de Ochoa et al. (2010) se enfoca en un modelo MLP (Modelo Lineal Probabilístico), con Moreno y Melo (2011) el mejor modelo fue Support Vector Machine y

posteriormente con Moreno (2013) se identifica un modelo Logit como mejor modelo aplicable. Esto resalta el hecho de que las metodologías si bien pueden ser adecuadas bajo los contextos estadísticos de la bondad de ajuste, los datos y las empresas son las que determinan qué metodología es mejor. En el caso de este trabajo, estadísticamente un modelo L-SVM presenta una mejor calificación, pero el modelo Probit se ajusta mejor con las condiciones de uso y de políticas de la entidad a la que se hizo el proceso.

La segunda consideración respecto a los trabajos revisados indica que las variables utilizadas presentan amplias diferencias en los trabajos base, si bien muchos de ellos establecen sus criterios en variables socioeconómicas, estas están construidas con información única para cada entidad, indicando que no existe un criterio único de uso de variables para los estudios. En cada caso cada empresa tiene una base de datos única e incomparable, pero es claro que son las variables socioeconómicas las que destacan en todos los estudios. La consideración final que se encuentra es que los signos pueden variar en todos los estudios, y esto se da por el comportamiento de los clientes y como se refleja en las variables, en muchos de los casos, obedecen a la intuición financiera esperada, pero en algunos como el trabajo presentado tiene variables que contrastan con la realidad económica; esto se puede verificar fácilmente con análisis estadístico que puede sustentarse además con criterios de la entidad previamente consultada.

5. Conclusión

En este trabajo se ha evaluado el desempeño de cuatro tipos de modelos para la medición de probabilidad de impagos: Logit, Probit, Redes Neuronales y L-SVM. Como caso de estudio se consideró la información de una caja de compensación familiar en Colombia. Los resultados presentados permiten identificar que las redes neuronales son las menos eficientes para representar el problema planteado en la base de datos analizada; adicionalmente, aunque el modelo L-SVM obtuvo el mejor resultado en su estimación, sus relaciones de indicadores de Especificidad y Sensibilidad no fueron las mejores. Respecto a los modelos Logit y Probit, los resultados fueron muy similares a los del L-SVM, pero el modelo Probit evidenció una mayor fortaleza de manejo de la información que el modelo Logit, siendo más estable en identificación correcta de eventos y usando mejor las categorías que el primero. Por tanto, el modelo de riesgo de crédito que mejor puede considerarse para la base de datos analizada corresponde con el modelo Probit mejorado con procesos Stepwise para la selección de variables a utilizar.

Para trabajos futuros, se recomienda explorar este tipo de verificaciones para diferentes muestras de datos, de tal forma que los investigadores de riesgo de crédito puedan entregar afirmaciones categóricas sobre con qué tipos de modelos debe continuarse desarrollando aplicaciones en este campo. Así mismo, será conveniente explorar métodos de selección de variables explicativas que elimine el sesgo del investigador en la especificación del modelo final.

También es necesario realizar este tipo de estudios en sectores comerciales y en otras entidades del sector cooperativo o similares; si bien no es el objetivo central del estudio la realización de este estudio muestra de forma empírica que los modelos probabilísticos dependen de los datos suministrados y que son la conformación de las variables con los datos mismos los que dan la dirección de los análisis de los parámetros, pues, algunos resultados pueden ser contraintuitivos en sus variables frente a otros estudios y a la teoría económica, pero justamente es la naturaleza de la información de cada serie de clientes quienes las determinan.

Referencias

Abdou, H. A., & Pointon, J. (2011). Credit Scoring, Statistical Techniques and Evaluation Criteria: A Review of the Literature. *Intelligent Systems in Accounting, Finance and Management*, *18*(2-3), 59-88. https://doi.org/10.1002/isaf.325

Akkoç, S. (2012). An empirical comparison of conventional techniques, neural networks and the three stage hybrid Adaptive Neuro Fuzzy Inference System (ANFIS) model for credit scoring analysis: The case of Turkish credit card data. *European Journal of Operational Research*, *222*(1), 168-178. https://doi.org/10.1016/j.ejor.2012.04.009

Altman, E.I. (1980). Commercial bank lending: process, credit scoring, and costs of errors in lending. *Journal of Financial and Quantitave Analysis*, *XV*(4), 813-832.

Altman, E. (1968). The Prediction of Corporate Bankruptcy. *The Journal of Finance, XXIII*(4), 589-609. https://doi.org/https://doi.org/10.2307/2978933

Anderson, D.R., Sweeney, D.J., & Williams, T.A. (2008). *Estadística para Administración y Economía* (S. Cervantez (ed.); 10th ed.).

Anderson, R. (2007). *The Credit Scoring Toolkit*. (Oxford University Press, Ed.; 1st ed., Vol. 1). Oxford: Oxford University Press. Mexico DF: CENGAGE Learning.

Apilado, V.P., Warner, D.C., & Dauten, J.J. (1974). Evaluative Techniques In Consumer Finance - Experimental Result And Policy Implications For Financial Institutions. *Journal of Financial and Quantitave Analysis*, *9*(2), 275-284.

Chaudhuri, K., & Cherical, M.M. (2012). Credit rationing in rural credit markets of India. *Applied Economics*, *44*(7), 803-812. https://doi.org/10.1080/00036846.2010.524627

Constangioara, A. (2011). Consumer Credit Scoring. *Romanian Journal of Economic Forecasting*, *3*, 162-178.

Desai, V.S., Crook, J.N., & Overstreet, G.A. (1996). A comparison of neural networks and linear scoring models in the credit union environment. *European Journal of Operational Research*, *95*(1), 24-37. https://doi.org/10.1016/0377-2217(95)00246-4

Fisher, R.A. (1936). The use of multiple measurements in taxonomic problems. *Annals of Eugenics*, *7*(2), 179-188. https://doi.org/10.1111/j.1469-1809.1936.tb02137.x

Glorfeld, L.W. (1990). A Robust Methodology for Discriminant Analysis Based on Least-absolute-value Estimation. *Managerial and Desicion Economics*, *11*(1), 267-277.

Gonçalves, R.M.L., & Braga, M.J. (2008). Determinantes de risco de liquidez em cooperativas de crédito: uma abordagem a partir do modelo logit multinomial. *Revista de Administração Contemporânea*, *12*(4), 1019-1041. https://doi.org/10.1590/S1415-65552008000400007

Hilbe, J. M. (2015). *Practical Guide to Logistic Regression*. New York, HY. Taylor and Francis Group. https://doi.org/10.1201/b18678

Hosmer, D., Lemeshow, S., & Sturdivant, R. (2013). *Applied Logistic Regression*. In Wiley (Ed.), *Wiley* (Third). Wiley. Hoboken (New Yersey): John Wiley & Sons. https://doi.org/10.2307/1270433

Ley 21, 1 (1982) (testimony of Senado de la República de Colombia). https://www.funcionpublica.gov.co/eva/gestornormativo/norma_pdf.php?i=4827

Lipovetsky, S., & Conklin, M. (2004). Decision Making By Variable Contribution in Discriminant, Logit, and Regression Analyses. *International Journal of Information Technology & Decision Making*, *3*(2), 265-279. https://doi.org/10.1142/S0219622004001033

Martens, D., Van Gestel, T., De Backer, M., Haesen, R., Vanthienen, J., & Baesens, B. (2010). Credit rating prediction using Ant Colony Optimization. *Journal of the Operational Research Society*, *61*(4), 561-573. https://doi.org/10.1057/jors.2008.164

Melo-Velandia, L.F., & Becerra-Camargo, O.R. (2005). Medidas de riesgo, características y técnicas de medición: una aplicación del VaR y el ES a la tasa Interbancaria de Colombia. *Banco de La Republica*, 1-75.

Melo, L.F., & Granados, J.C. (2011). Regulación y valor en riesgo. *Ensayos sobre Política Economica*, *29*(64), 110-177.

Millán-Solarte, J., & Caicedo-Cerezo, É. (2018). Modelos para otorgamiento y seguimiento en la gestión de riesgo de crédito. *Revista de Métodos Cuantitativos para la Economía y la Empresa*, *1*(25), 23-41. https://www.upo.es/revistas/index.php/RevMetCuant/article/view/2370/2709

Moreno, J.F., & Melo, L.F. (2011). Pronóstico de incumplimientos de pago mediante máquinas de vectores de soporte: una aproximación inicial a la gestión del riesgo de crédito. *Boletín de Prensa DANE*, *677*, 1-33.

Moreno, S. (2013). *El Modelo Logit Mixto para la construcción de un Scoring de Crédito*. Universidad Nacional de Colombia.

Mures, J., García, A., & Vallejo, E. (2011). Aplicación del Análisis Discriminate y Regresión Logística en el estudio de la morosidad en las Entidades Financieras Comparación de Resultados. *Revista de La Facultad de Ciencias Económicas y Empresariales*, *1*, 175-199. http://search.proquest.com/docview/818448211?accountid=10344

Myers, J.H., & Forgy, E.W. (1963). Comparison of Discriminant and Regression analysis for credit evaluation System. *Journal of the American Statistical Association*, *58*(303), 799-806.

Ochoa, J.C., Galeano, W., & Agudelo, L.G. (2010). Construcción de un modelo de scoring para el otorgamiento de crédito en una entidad financiera. *Perfil de Coyuntura Económica*, *16*, 191-222.

Olagunji, F., & Ajiboye, A. (2010). Agricultural lending decision: a tobit regression analysis. *African Journal of Food Agriculture, Nutrition and Development*, *10*(5), 1-27. https://doi.org/10.4314/ajfand.v10i5.57897

Orgler, Y.E. (1970). A Credit Scoring Model for Commercial Loans. *Journal of Money, Credit and Banking*, *2*(4), 435-445. https://doi.org/10.2307/1991095

Palacio, A.P., Lochmúller, C., Murillo, J.G., Pérez, M.A., & Vélez, C.A. (2011). Modelo cualitativo para la asignación de créditos de consumo y ordinario. El caso de una cooperativa de crédito. *Revista Ingenierias Universidad de Medellín*, *10*(19), 89-100.

Pérez, F.O., & Fernández, H. (2007). Las redes neuronales y la evaluación del riesgo de crédito. *Revista Ingenierías*, *6*(10), 77-91.

Puertas, R., & Marti, M.L. (2012). Análisis del Credit Scoring. *Revista Administración de Empresas*, *53*(3), 303-315.

Rayo, S., Rubio, J.L., & Blasco, D.C. (2010). A Credit Scoring Model for Institutions of Microfinance under the Basel II Normative. *Journal of Economics, Finance & Administrative Science*, *15*(28), 89-124.

Rodríguez, D.E., Becerra, J.A., & Cardona, D. (2017). Modelos y metodologías de credit score para personas naturales: una revisión literaria. *Revista CEA*, *3*(5), 13-28. https://doi.org/10.22430/24223182.645

Rodríguez, D., & Trespalacios, A. (2015). *Medición de valor en riesgo en cartera de clientes a través de modelos logísticos y simulación de Montecarlo*. Medellín (Colombia): Universidad EAFIT. https://repository.eafit.edu.co/handle/10784/7853.

Roszbach, K. (2004). Bank Lending Policy, Credit Scoring, and the Survival of Loans. *Review of Economics and Statistics*, *86*(4), 946-958. https://doi.org/10.1162/0034653043125248

Saavedra-García, M.L., & Saavedra-García, M.J. (2010). Modelos para medir el riesgo de crédito de la banca. *Cuadernos de Administración*, *23*(40), 295-319. http://www.scielo.org.co/scielo.php?script=sci_arttext&pid=S0120-35922010000100013&lang=pt

Salazar, F.E. (2013). Cuantificación del riesgo de incumplimiento en créditos de libre inversión: un ejercicio econométrico para una entidad bancaria del municipio de Popayán, Colombia. *Estudios Gerenciales*, *29*(129), 416-427. https://doi.org/10.1016/j.estger.2013.11.007

Soydaner, D., & Kocadağlı, O. (2015). Artificial Neural Networks with Gradient Learning Algorithm for Credit Scoring. *Journal of the School of Bussiness Administration*, *44*(2), 3-12.

Sustersic, M., Mramor, D., & Zupan, J. (2007). Consumer credit scoring models with limited data. *Ljubljana Meetings Paper*, *1*(1), 1-21. https://doi.org/10.1016/j.eswa.2008.06.016

Támara, A., Villegas, G., Leones, M., & Salazar, J. (2018). Modelación del riesgo de insolvencia en empresas del sector salud empleando modelos logit. *Revista de Métodos Cuantitativos para la Economía y la Empresa*, *1*(26), 128-145. https://www.upo.es/revistas/index.php/RevMetCuant/article/view/2757/3039

Taylor, K.W., & Chappell, N.L. (1980). Multivariate analysis of qualitative data. *Canadian Review of Sociology/Revue Canadienne de Sociologie*, *17*(2), 93-108. https://doi.org/10.1111/j.1755-618X.1980.tb00688.x

Thomas, L., Edelman, D., & Crook, J. (2002). *Credit Scoring and Its Applications*. Philadelphia: SIAM (Society For Industrial and Applied Mathematics).

Trejo, J.C., Martínez, M.Á., & Venegas, F. (2017). Credit risk management at retail in Mexico: An econometric improvement in the selection of variables and changes in their characteristics. *Contaduría y Administración*, *62*(2), 399-418. https://doi.org/10.1016/j.cya.2017.02.006

Webster, G. (2011). *Bayesian Logistic Regression Models for Credit Scoring* (Issue December). Grahamstown, South Africa: Rhodes University.

Zhai, H., & Russell, J.S. (1999). Stochastic modelling and prediction of contractor default risk. *Construction Management and Economics*, *17*(1), 563-576.

Zhou, L., Lai, K.K., & Yen, J. (2009). Credit Scoring Models With Auc Maximization Based on Weighted Svm. *International Journal of Information Technology & Decision Making*, *8*(4), 677-696. https://doi.org/10.1142/S0219622009003582

REVISTA DE MÉTODOS CUANTITATIVOS PARA LA ECONOMÍA Y LA EMPRESA (33). Páginas 49-73.
Junio de 2022. ISSN: 1886-516X. D.L: SE-2927-06.
www.upo.es/revistas/index.php/RevMetCuant/article/view/5906

The role played by supply chain strategies and supply chain integration in financial performance. An empirical study in Peru

PÉREZ GILABERT, FRANCISCO ALEJANDRO
Pontificia Universidad Católica del Perú
Correo electrónico: perezg.francisco@pucp.edu.pe

PENA ACEVEDO, JORGE LUIS
Pontificia Universidad Católica del Perú
Correo electrónico: jorge.pena@pucp.edu.pe

ABSTRACT

The objective of this study is to develop and test a framework for the role that supply chain strategy (SCS) and supply chain integration have in a firm's financial performance and to increase the understanding of the role that these factors play in supply chain design. Structural equation modeling was used to test these relationships based on data obtained from small and medium exporting enterprises in Peru. This study responds to a gap in understanding the role of supply chains in small and medium enterprises (SMEs) and how firms in Latin America, especially in Peru, apply supply chain concepts. Findings indicate that companies should prioritize their integration efforts depending on the type of supply chain strategy. Likewise, results show that customer integration is directly related to a firm's financial performance. This study responds to the need to understand the development of supply chain strategies and the generation of competitive advantage in Peruvian export-manufacturing SMEs.

Keywords: small and medium enterprises, structural equation modeling, supply chain strategies, supply chain integration, financial performance.
JEL classification: C44; L00; L60; N66.
MSC2010: 90B70; 62H15; 62P25; 62P30; 62J99.

Artículo recibido el 30 de abril de 2021 y aceptado el 27 de agosto de 2021.

El papel que juegan las estrategias y la integración de la cadena de suministro en el desempeño financiero. Un estudio empírico en Perú

RESUMEN

El objetivo de este estudio es desarrollar y probar un marco para el papel que las estrategias de la cadena de suministro (SCS) y la integración de la cadena de suministro tienen del rendimiento financiero de una empresa y aumentar la comprensión del papel que estos factores tienen en el diseño de la cadena de suministro. Se utilizó la modelización de ecuaciones estructurales para probar estas relaciones a partir de datos tomados de pequeñas y medianas empresas (PYMES) exportadoras peruanas. Nuestro estudio responde a un vacío en la comprensión del papel de la cadena de suministro en las PYME, así como a llenar el vacío de cómo las empresas en América Latina, especialmente en Perú, aplican los conceptos de la cadena de suministro. Los resultados indican que las empresas deben priorizar su esfuerzo de integración dependiendo del tipo de estrategia de la cadena de suministro. Asimismo, los resultados muestran que la integración de los clientes está directamente relacionada con el rendimiento financiero de la empresa. Este estudio responde a la necesidad de encontrar respuestas al desarrollo de estrategias de cadena de suministro y a la generación de ventajas competitivas en las PYMES exportadoras peruanas.

Palabras clave: pequeñas y medianas empresas, modelos de ecuaciones estructurales, estrategias de la cadena de suministro, integración de la cadena de suministro, rendimiento financiero.
Clasificación JEL: C44; L00; L60; N66.
MSC2010: 90B70; 62H15; 62P25; 62P30; 62J99.

1. Introduction

Since the 1980s, Latin American economies have opened their markets to the outside world through an accelerated expansion of exports and imports (Urmeneta, 2016). This expansion has been the result of the adoption of strategies that have considered economies' resources and capabilities (Araya, 2016). However, many challenges persist in the region, with companies facing problems such as poor infrastructure, expensive and inefficient logistic networks, and lack of economic integration (Tanco et al., 2018). These challenges have resulted in supply chain management being less studied and therefore less understood in Latin American countries, especially in those aspects related to supply chain integration and their impact on the financial performance of an organization (Ruiz-Torres et al., 2012). Thus, it is interesting and instructive to study the role of supply chain strategies in companies in an emerging Latin American market like Peru. Peruvian companies are interested in understanding the concepts associated with supply chain strategies and the strategic role they must adopt to position themselves on a par with their international competitors and thus be able to compete globally. Detailed analysis of the development of supply chain strategies in large companies in the country can help determine the low level of development of these strategies compared to international companies (Roncal, 2019).

Factors such as barriers to entry, product differentiation, and vertical integration affect a company's ability to successfully integrate internally and externally and thereby improve the organization. This integration with supply chain partners better reflects the current reality of the business environment and expands the list of structural foundations that researchers can study to measure the impact of the company (Ralston et al., 2015). Ralston et al. pointed out that relationships in a supply chain require cross-functional and cross-firm business processes; therefore, it is important to generate confidence among all links in the chain by building long-term relationships, nurturing frequent communication, and making joint decisions.

Several studies have been conducted on supply chain integration; however, this is an evolving construct (Huo et al., 2014) with no consensus as to which components to include nor how to measure them (Marin-Garcia et al., 2014). Qi et al. (2017) developed an integrated framework based on the impact that operational strategies, as well as supply chain strategies, have on the integration and performance of organizations. This study was conducted on SMEs in China and included the four types of operational strategies (OS) developed by Skinner (1969). In addition, it included the generic supply chain strategies (SCS), studied by Fisher (1997), and supply chain integration (SCI), considering the variables internal and external integration (Huo et al., 2014). The work of Qi et al. (2017) is limited because several authors have recognized the need to further divide external integration into two constructs: integration with clients and integration with suppliers (Alfalla-Luque & Medina-López, 2009; Flynn et al., 2010; Won Lee et al., 2007). Schoenherr and Swink (2012) noted that integration between suppliers and customers allows companies to manage the flow of goods through the entire supply chain efficiently while providing access to resources and capabilities in chain partners that would otherwise have been very costly to develop. The seminal work of Frohlich and Westbrook (2001a) detailed an early concept of supply chain integration and developed the concept of integration arcs; they concluded that a comprehensive external integration strategy involving supplier and customer relationships will outperform other integration strategies.

There is a bias in supply chain management (SCM) studies towards large-scale organizations with small businesses acting as first and second suppliers (Thakkar & Deshmukh, 2008), but many of these organizations are dependent on small and medium enterprises (SMEs). Thus, further study is needed of how SMEs apply and develop concepts from SCM, especially in Latin America where research in this area is lacking (Tanco et al., 2018). There is no doubt that SMEs face much more competitive markets than large-scale organizations. Although business strategies may be similar in both cases, it is no less true that the former must develop much more agile resources and dynamic capabilities in a context where several elements interact (Rodríguez & Figueroa, 2013).

In this study, we used a quantitative approach of deductive logic with a nonexperimental, cross-sectional, and explanatory design that allowed correlating the constructs of supply chain strategies, supply chain integration, and the financial performance of organizations to determine the correlation that exists between the independent variables and the dependent variable. The data necessary for our approach was collected from SMEs in Peru. A structural equation model was used to determine, through confirmatory factor analysis and regression analysis, whether the proposed model is adequate to analyze the structural paths among the constructs.

The contribution of this paper is twofold. First, we expand the framework developed by Qi et al. (2017) by dividing external integration into two constructs: integration with clients and integration with suppliers. Second, we expand SCM research in Latin America and the study of SCM practices in SMEs, showing how by using robust methodologies, SMEs can validate factors of supply chain strategy (SCS) and its relationship with organizational performance, enabling decision makers in Peruvian SMEs to understand how the theory of dynamic resources and capabilities can contribute to better results in their operations.

2. Literature Review

Since Skinner's (1969) seminal work, much research has been done on the operational strategy (OS) of firms. Skinner's original research takes into consideration four strategies: cost quality, delivery and flexibility. OS has been studied extensively in relation to the environment, managerial choices, and competitive strategies (Qi et al., 2017). Qi et al. pointed out that, although OS has been understood from an organization-wide perspective, new evolving practices and theories require a new understanding of OS in the context of supply chain strategies.

In developing operational strategies, companies should identify their customers' needs for different products and services, classifying these into order winners, to differentiate themselves from competitors, or order qualifiers, to serve the market (Qi et al., 2017). Based on these needs, companies should build operational infrastructures and capabilities accordingly, such as the development of supply chain, management infrastructures, and capabilities; therefore, following the organization's operational strategies, the development of a supply chain strategy is necessary (Qi et al., 2017). Operational and supply chain strategies are dynamic capabilities that can help companies to repetitively perform productive tasks related to the transformation of raw materials into finished products.

According to Qi et al. (2017), supply chain management requires strategies and practices beyond the boundaries of companies such as the relationship of OS with knowledge management (Hussain et al., 2015), with competitive strategies (Shavarini et al., 2013), and with competitive advantage (Liu & Liang, 2015). However, very few studies have been conducted from the perspective of supply chain management, its integration into, and its impact on organizational financial performance (Qi et al., 2017). An example is the study by Quesada et al. (2008), who analyzed the strategic alignment between order winner selection and supply chain integration strategies. There is, therefore, a call for further research on the role of operational strategies in the formation of supply chain strategies, their integration, and organizational performance (Qi et al., 2017).

Flynn et al. (2010) noted the high degree of overlap between definitions of integration that address the flow of materials, information, resources, and/or money. They proposed, following the understanding of Saeed et al. (2005), that the management of supply chain integration (SCI) can be understood from the perspective of two dimensions: internal integration (II), which describes the level of collaboration of functions within a manufacturer, and external integration (EI), which reveals the characteristics of close and interactive relationships with customers and suppliers.

Supply chain integration can be viewed as a dynamic capability of the organization. According to organizational capability theory, the capabilities of supply chain strategies can be transferred to

supply chain integration capabilities (Huo, 2012). On the other hand, according to Qi et al. (2017), the vision of supply chains defined by their strategies can develop communication, process coordination, and joint planning between functions and external supply chain partners. At the same time, learning capabilities formed in the development of supply chain strategies can also help companies establish integrative relationships between functions and chain partners (Qi et al., 2017).

Supply chain integration can be defined as the degree to which an organization strategically collaborates with internal functions or external supply chain members to manage the intra and interorganizational processes essential to achieve an efficient and effective flow of products, services, information, money, and decisions in order to deliver maximum value to the customer (Zhao et al., 2008). Internal integration and external integration, understood by some authors as integration with suppliers and customers, play totally different roles in organizations. While the former states that a company's departments should function in an integrated manner, the latter highlights the importance of establishing a close relationship with supply chain partners, that is, customers and suppliers (Qi et al., 2017).

Internal integration refers to the degree to which a manufacturing company structures its organizational strategies, practices, and processes into organizational and collaborative processes in order to meet the requirements of its customers and interact efficiently with its suppliers (Flynn et al., 2010). Two key features of internal integration are communication by information sharing, in which a firm’s departments outline a system for efficient information sharing, and cooperation by joint decision making, in which important firm decisions are in collaboration with all the departments (Ellinger et al., 2000; Jajja et al., 2018). Flynn et al. (2010) pointed out that external integration, on the other hand, refers to the degree to which a manufacturer relates to its customers and suppliers to structure strategies and practice collaborative and synchronized processes for mutual value (Chen & Paulraj, 2004).

External integration can be divided into customer integration and supplier integration. Customer integration is the concept related to planning, implementing, and evaluating successful relationships between recipients either upstream or downstream of supply chain (Jajja et al., 2018). Customer integration is primarily concerned with the ability to deliver the right products and services at the right time, in the right place, and in the right quantity. This means integration of the customer in processes such as idea generation, product management, and delivery (Koufteros et al., 2005). Supplier integration, on the other hand, deals with strategic linkages with suppliers (Jajja et al., 2018). This requires involving suppliers in the product development process, as well as in production planning and inventory management. Supplier integration seeks to develop a rapid response system with suppliers, constructing a supplier network that assures reliable delivery and exchanging information with suppliers. This relationship cannot be completed if the firm does not consider key suppliers as strategic collaborators and does not help develop their technological and managerial capabilities (Jajja et al., 2016).

Extensive literature has found that supply chain integration is the driver of the financial performance of firms (Acar et al., 2006; Huh et al., 2008; Qi et al., 2017; Saini & Johnson, 2005). Qi et al. (2017) pointed out that both internal integration and external integration are positively related to financial performance. On the other hand, information sharing is related to the financial performance of firms (Huo et al., 2014). The ability to exchange information is an antecedent of collaborative buyer-supplier relationships and also impacts a firm's financial performance (Hsu et al., 2008).

3. Hypothesis Development

The basic objective of the lean supply chain strategy is to provide a flow of goods, services, and technologies from suppliers to customers without creating any waste (Jasti & Kodali, 2015). This means that the competitive focus of the lean supply chain strategy is to reduce costs. Therefore, it is imperative for lean enterprises to organize an efficient production system that is integrated with the company's

logistics processes, thus producing high volumes of output at low cost (Qi et al., 2017). Such a high volume of production requires high efficiency through automation and real-time information flow within the organization. Therefore, the following hypothesis is proposed:

*H*1: Lean supply chain strategy (LSCS) is positively related to internal integration (II).

Lean supply chain manufacturers must maintain good relationships with their suppliers to ensure the availability of raw materials (Qrunfleh & Tarafdar, 2013). It has also been emphasized that a close and long relationship with few suppliers is one of the characteristics of lean supply chains (Jacobs et al., 2014). A lean supply chain also requires a high degree of communication with its customers, thus improving the accuracy of the demand information exchanged, thereby reducing inventory obsolescence (Qi et al., 2017). Therefore, the following hypotheses are proposed:

*H*2: Lean supply chain strategy (LSCS) is positively related to customer integration (CI).

*H*3: Lean supply chain strategy (LSCS) is positively related to supplier integration (SI).

An agile supply chain emphasizes market responsiveness and rapid response to the customer. For these elements to be provided, process and functional integration should be enhanced through the use of advanced manufacturing and information technologies (Gunasekaran & Yusuf, 2002). In addition, agile supply chains can quickly transfer customer demands to all functions of the manufacturer, thus facilitating real-time connections through technologies and information systems (Roh et al., 2014). Companies with agile supply chains are able to form teams to effectively resolve conflicts, problems, and errors that may arise within the company (Qrunfleh & Tarafdar, 2013). Therefore, the following hypothesis is proposed:

*H*4: Agile supply chain strategy (ASCS) is positively related to internal integration (II).

An agile supply chain could respond quickly to changes in demand, in terms of volume and variety, to serve volatile and unpredictable markets (Christopher, 2000). It is no longer sufficient to respond quickly and at the right time, so agility plays an important role as a significant further step in responding to the demand changes outlined above. An agile supply chain is also determined by the consistent and timely receipt of the right number of parts from multiple suppliers (Ahmad & Schroeder, 2001). Agile supply chains push companies to integrate with external partners, customers, and suppliers in the chain, thus generating opportunities and quickly detecting changes in customer demand. Therefore, the following hypotheses are proposed:

*H*5: Agile supply chain strategy (ASCS) is positively related to customer integration (CI).

*H*6: Agile supply chain strategy (ASCS) is positively related to supplier integration (SI).

According to capability theory, supply chain integration is necessary for financial performance; this is because integration facilitates information sharing and therefore enables firms to cope with environmental uncertainty (Huo, 2012). Verona (1999) proposed that both internal and external integration capabilities improve process efficiency and product effectiveness. However, Verona could not empirically verify this relationship. According to Qi et al. (2017), an extensive literature has determined the relationship of supply chain integration to financial performance (Flynn et al., 2010; Kim, 2009). Internal supply chain integration was identified as one of the important differentiators of firm performance; other studies have found a relationship between internal integration and financial performance (Stank et al., 2001). Therefore, the following hypothesis is proposed:

*H*7: Internal integration (II) is positively related to supplier integration (SI).

The impact of the relationship between customer integration and financial performance is inconsistent (Huo, 2012). While some studies such as Flynn et al. (2010) found no significant

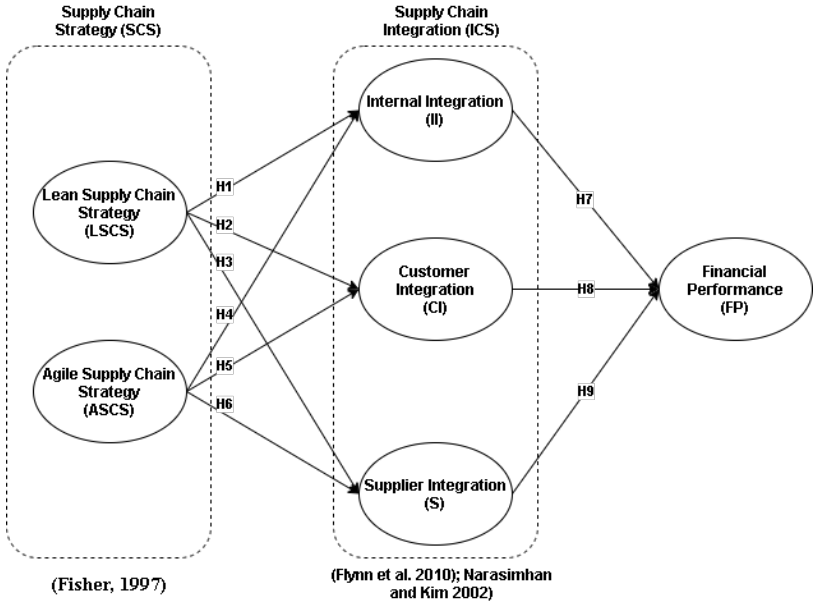
relationship between these two constructs, others such as Qi et al. (2017) and Narasimhan and Kim (2002) reported positive effects. On the other hand, Frohlich and Westbrook (2001b) found that firms with higher supplier integration achieve higher levels of market share and financial returns. Likewise, Huo et al. (2013) found that supplier integration through system and process integration have a positive effect on the financial performance of Chinese firms. Other studies have found a mediating role of supplier integration on financial performance through other constructs such as operational performance and flexibility (Shou et al., 2018). Therefore, the following hypotheses are proposed:

*H*8: Customer integration (CI) is positively related to financial performance.

*H*9: Supplier integration (SI) is positively related to financial performance.

The following theoretical framework is proposed for supply chain strategies, supply chain integration, and financial performance (Figure 1).

Figure 1. Theoretical Framework for the relationship between Supply Chain Strategies and Supply Chain Integration and Financial Performance.



4. Research Methodology

This study used a quantitative, deductive logic approach, with a nonexperimental, cross-sectional, explanatory design that allowed correlating the constructs of supply chain strategies (lean and agile), supply chain integration (internal, customer, and supplier integration), as part of the SCI construct, as well as the organization's financial performance. The research design included the phases of instrument selection, data collection, and data analysis.

4.1. Instrumentation

Original questionnaires were in English, so the back translation methodology was used. Questionnaires were translated by a professional translator in the area of this research. After translating the questions from English to Spanish, they were checked for validity and fit by a panel of experts composed of researchers from universities in Peru and Ecuador and experts in supply chain management. The final version in Spanish was again translated into English for verification (Flynn et al., 2010).

The independent variables comprised the supply chain strategy (lean and agile) and were measured using the instrument adopted by Ward et al. (1995); in the case of the variables customer integration, integration with suppliers, and internal integration, the instruments used by Narasimhan and Kim (2002) were used; instruments developed by De Toni and Tonchia (2001) and Vickery et al. (2003) were used for measurement of the dependent variable (Table A1 in the Appendix A). For the operationalization of the factors that make up the conceptual model, a 7-point Likert scale was chosen. This scale has been previously used in the literature and has demonstrated validity and reliability. The results of this research seek to be representative of Peruvian export-manufacturing SMEs. The sampling technique used was non-probabilistic and by convenience because the response rate is low as most managers are not willing to participate in this type of research (Manosalvas, 2018).

4.2. Data Collection

Urmeneta (2016) introduced the concept of export SMEs, which was the basis for defining the population of this research. According to Urmeneta, export companies are all those that comply with customs procedures to ship abroad. However, it is difficult to obtain a single definition and comparable data on firms by size in Latin America and the Caribbean because in most countries in the region, there are multiple and divergent definitions. Urmeneta pointed out that definitions may vary according to the economic sector, the institution in question, and of course, the year; in addition, the definitions consider different variables to measure size, such as the value of sales or equity in local currency, which become obsolete in the short term.

The variable of the number of workers per company seems to be the most practical for defining the size of the company and the one that best reflects the reality of each country (Urmeneta, 2016). Table 1 details the different variables and the classification of companies, small and medium-sized for the case of Peru; micro SMEs have been left out of this study due to their high level of informality (50.4%) and low level of exports (Garcés & Landa, 2019). The total population of Peruvian exporting companies is *N*=8200 companies. This value coincides with studies carried out on the development of export companies in recent years, where it is mentioned that Peru would have 8200 export companies with their shipments exceeding 44 billion USD in 2019 (SIPC Market Intelligence, 2019).

Table 1. Criteria used to define Export SMEs.

	Total annual sales (USD)		Number of workers	
SME Type	From	To	From	To
Large SME	3059001	-	251	-
Medium SME	2261001	3059000	51	250
Small SME	199500	2261000	11	50

Source: Adapted from *Dinámica de las empresas exportadoras en América Latina: El aporte de las PYMES*, by R. Urmeneta, 2016, CEPAL, https://www.cepal.org/es/publicaciones/40296-dinamica-empresas-exportadoras-america-latina-aporte-pymes

In this research, export SMEs were considered because they allow the analysis of the concepts related to SCS, SCI, and financial performance of the organization. On the other hand, as mentioned by Humphrey and Schmitz (2002), export companies compete in open markets, so the concepts related to SCS and SCI are more developed in this type of company than in non-exporting SMEs that compete only in their local markets.

The study combines both primary and secondary data. The primary data were obtained through on-site surveys. The secondary data were obtained from the database of the web page of Peru's International Standard Industrial Classification of All Economic Activities (United Nations Department of Economic and Social Affairs, Statistics Division, 2008). To ensure the quality and understanding of the topic to be surveyed, each company received prior training from the researcher who, in turn, participated in part of the pilot test conducted in Peru between January and February 2020. The data collection process was delayed by the beginning of the confinement of all Peruvian households and the almost total suspension of manufacturing activities due to the COVID19 pandemic; there was not a significant number of responses to the online surveys, and it was necessary to wait for the return of key informants to the companies to start the data-collection process.

Companies contacted were those that fall within the ISIC REV. 4.0 and are classified as follows: C.10 (food product manufacturing); C.13 (textile manufacturing); C.15 (leather manufacturing); C.17 (manufacture of paper products); C.19 (manufacture of petroleum-related products); C.20 (manufacture of chemicals); C.21 (manufacture of pharmaceuticals); C.22 (manufacture of rubber and plastic products); C.23 (manufacture of nonmetallic mineral products); C.24 (manufacture of base metals); C.25 (manufacture of fabricated metal products); C.26 (manufacture of computer, electronic, and optical products); C.27 (manufacture of electrical equipment); C.28 (manufacture of machinery and equipment); C.29 (manufacture of motor vehicles, trailers, and semi-trailers); C.30 (manufacture of other transportation equipment); C.31 (manufacture of furniture); and C.33 (repair and installation of machinery and equipment).

The unit of analysis was limited to export-manufacturing SMEs in Peru, with exports in the last three years and that have made at least one export per year. The method of response used in this study was single respondent, in this case, operations managers, supply chain managers, CEOs, or administrators. Although a debate exists on whether single respondent surveys are appropriate to study supply chain management (Kull et al., 2018), several authors have pointed out that single respondent surveys might be more appropriate in the case of SMEs. Research suggests that SMEs have different and more diverse goals than larger firms and that SMEs are mostly owned by a single founder or founding family with specific goals and objectives for the firm (La Porta et al., 1999). Thus, SMEs having multiple respondents per survey might impede research as everyone on the organizational ladder might not be aware of or aligned with the single founder or founding family's vision. Likewise, multi-respondent designs might exclude SMEs from supply chain management research and create a bias in the field towards large organizations that exclude new avenues of research in supply chain management theory (Kull et al., 2018). Finally, it has been found that in family businesses, as is the case with SMEs, single respondent surveys have similar regression results compared to multi-respondent surveys (Holt et al., 2017).

Based on the above definition, companies that exported only raw materials were not included. Through the website of Peru's ISIC REV. 4.0, only 682 companies met the profile of exporting SMEs. From the initial list of companies, a sample of 242 companies was obtained, representing a response rate of about 35.48%. Only one response was obtained for each company because the surveys were directed to operations managers, supply chain managers, or the owners or administrators of the companies that agreed to participate in the study.

The data analysis was defined in two independent but sequential processes. The first was exploratory data analysis, using SPSS v.23 software. In this process, the quality of the data was confirmed as no missing values were found. Outliers were found and analyzed on a case-to-case basis; no problem was found, so they were kept in the study. In this first part, the descriptive analysis of the sample was performed by relating the qualitative variables and testing their degree of dependence with the chi-square test. Secondly, the methodology for data treatment was developed for structural equation modeling (SEM), using SPSS v.23 and AMOS v.23 software. Subsequently, the number of factors or latent variables, both endogenous and exogenous, and their corresponding items defined in the theoretical framework were defined. The confirmatory factor analysis (CFA) path graph was

constructed, and the multivariate normality assumption was tested using Mardia's test; considering the threshold of a kurtosis index is greater than 70, it was found that this assumption is not met.

For the parameter estimation procedure, there are some techniques which depend on the normality assumption indicated above; if multivariate normality is met, the maximum likelihood (ML) procedure is suggested; otherwise the unweighted least squares (ULS) procedure is recommended (Forero et al., 2009; Yang-Wallentin et al., 2010). The fit indicators of the measurement model were then verified according to the ULS procedure. The path graph of the SEM was constructed, and its indicators were found to validate the research hypotheses. The standardized regression coefficients and their significance levels were then interpreted, and the bootstrapping test was used to verify whether the indirect effects were significant and thus validate the mediating variables. Finally, the research hypotheses were validated.

5. Results and Discussion

5.1. Exploratory Data Analysis

Data screening showed no missing values, and there were 242 valid cases. In addition, considering the frequencies for qualitative variables (nominal and ordinal), no typing errors were detected, and the items, as designed, have values between 1 and 7.

Regarding the statistical assumptions, tests were performed to evaluate homoscedasticity and normality. Analysis of homoscedasticity through the residuals' drawings was performed, and the results were satisfactory. The multivariate normality analysis is necessary to know the shape of the multivariate distribution of the items, for which Mardia's (1970) kurtosis index, calculated in the AMOS v.23 program, was obtained. The individual results show kurtosis where the data are concentrated in the high values of the scale; a sharp kurtosis is generally intuited, and likewise, the skewness is positive. According to Ayan and Diaz (2008), if the Mardia coefficient exceeds the value of 70, the data do not satisfy the multivariate normality assumption; because in this research, a value of 88.67 was obtained, using the unweighted least squares (ULS) procedure is suggested because it is a procedure that uses polychoric correlations recommended for ordinal scales as is the case in this study (Forero et al., 2009; Yang-Wallentin et al., 2010).

Given the confirmation of the univariate and multivariate non-normal distribution of the data, we sought to identify the possible causes. One of the possible causes of the non-normality of the data could be the existence of outliers. To determine this, the Mahalanobis distance test is applied, which is a widely used criterion for the detection of outliers in multivariate data. Kline (2015) recommended setting a critical value of $p < 0.001$. The existence of outliers could be one of the causes of non-normality of the data, which, in turn, could generate Heywood cases (Brown, 2015). Using the Mahalanobis test, 26 outliers with p-values < 0.001 were detected. As already explained, outliers were analyzed, and no problem was found; their removal did not change the non-normality of the data.

5.2. Descriptive Analysis

It is important to identify the origin of the participants and to relate this to the classification of the companies according to their turnover and number of workers; 81.73% of the sample are in Lima, the capital of Peru, while the remaining 18.27% are in other cities. We performed the chi-square test to account for non-response bias in our survey (Table 2). We did this by comparing the real distribution of SMEs in Peru with the respondent distribution (Malhotra & Grover, 1998). The result of the test is $\chi^2 = 1.65$, which indicates that there is no significant difference between the survey distribution and the real distribution ($p > 0.05$) which suggests that our sample was not biased towards any region or SME type.

Table 2. χ^2 Test for Survey Bias according to region.

	Survey distribution		Real distribution	
SME Type	Lima	Outside Lima	Lima	Outside Lima
Large SME	10.58%	1.92%	4.30%	9.00%
Medium SME	18.27%	3.85%	8.98%	18.74%
Small SME	52.88%	12.50%	18.98%	40.00%

Source: Own elaboration.

According to the type of manufacturing of the companies, the most frequent is C.10 (food product manufacturing), both in Lima (23%) and outside the capital, where almost half belong to this category (48.5%). Companies in categories C.14, C.15, C.17, C.21, C.24, C.26, C.27, C.28, and C.29 were not present outside of Lima.

5.3. Reliability and Validity

Reliability has been tested with two indicators: Cronbach's alpha and composite reliability. Although much of the literature favors the use of Cronbach's alpha to test convergent validity, many authors recognize the difficulty that it is influenced by the number of items and by the number of possible responses on the scale because it was created for continuous variables and, in Likert-type scales, this is not the case. Cronbach's alpha shows the reliability based on the correlation between the construct indicators, but it is assumed that the indicators are equally reliable. Because this indicator tends to severely underestimate the reliability of the internal consistency of the SEM model, using different measures, such as composite reliability, is recommended (Henseler et al., 2012). Therefore, we proceeded to validate the composite reliability of the scales for each construct, which should be higher than 0.70 (Boyatzis & Gaskin, 2010).

Convergent validity means that a set of indicators or items only contribute to explaining the latent variable to which they belong, for which the average variance extracted (AVE) is used. A latent variable with an AVE of at least 0.5 indicates the capacity of the construct to explain more than half of the variance of its indicators on average (Henseler et al., 2012). In addition, discriminant validity was analyzed, which aims to identify whether the observable variables belong to their factor or latent variable and not to another; for this, the matrix criterion was used where the square root of AVE must be greater than the correlations between constructs.

In this study, the validity and reliability test plugin, incorporated in the AMOS v.23 program (Gaskin & Lim, 2016), was used to determine the reliability and discriminant validity. We constructed the path graph for each construct and calculated its indicators.

Table 3 shows how the composite reliability coefficients exceeded the 0.70 threshold in all factors except LSCS (0.629). The AVE allows verifying convergent validity and contributes to discriminant validity in a measurement model. The factors LSCS, ASCS, CI, and SI do not exceed the suggested threshold of 0.5. The discriminant validity presents some factors that do not satisfy this situation, given that the value of the diagonal of the matrix (square root of the AVE) is lower than the correlation between some pairs of factors. That is, the square root of AVE for SI is 0.683 and the correlation between SI with CI is 0.746; therefore, assumptions are not met, and it suggests that some CI items are highly correlated with SI. This implies that the model should be improved. The table also presents the values of Cronbach's alpha.

Table 3. Analysis of the Convergent, Discriminant and Reliability Validity of the Initial Model.

	α	CR	AVE	FP	LSCS	ASCS	CI	II	SI
FP	0.918	0.920	0.660	**0.812**					
LSCS	0.611	0.629	0.218	0.466	**0.466**				
ASCS	0.683	0.737	0.311	0.427	0.681	**0.558**			
CI	0.844	0.853	0.454	0.524	0.475	0.524	**0.674**		
II	0.912	0.914	0.571	0.504	0.437	0.480	0.634	**0.755**	
SI	0.792	0.830	0.466	0.494	0.593	0.524	0.746	0.603	**0.683**

Source: Own elaboration.

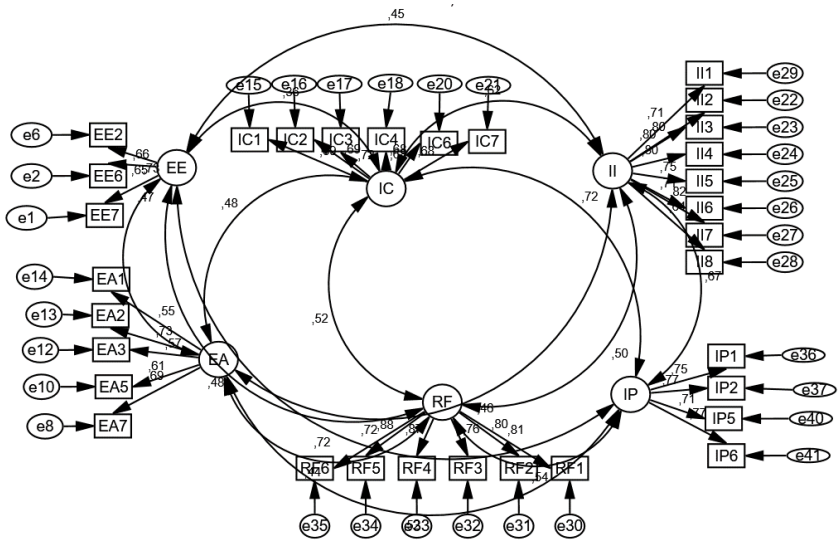
However, they will always be lower values than the composite reliability and therefore will not be the subject of further analysis. Using confirmatory factor analysis (CFA), in the next section, we show how to improve the value of these indicators.

5.4. Structural Equations Model

A structural equation model comprises two components: a measurement model (basically a CFA) and a structural model (Schreiber et al., 2006). The goodness-of-fit indicators presented for the measurement model, GFI and NFI are 0.923 and 0.918 respectively. The SRMR, which refers to the residuals and should be a value close to zero (less than 0.08), was 0.0678. Additionally, this model presented $\chi^2 = 1526.47$ with $g.l. = 764$, i.e., $\chi^2 \,/\, g.l. = 1.99$, a value that meets the range between 1 and 3 ($p < 1e^{-52}$).

Construct validity was improved by taking into consideration the results of the index modification (IM) provided by the AMOS program and by observing the factor loadings. After two rounds of analysis, the following final path model was used (Figure 2).

Figure 2. Path Graph Final Measurement Model.



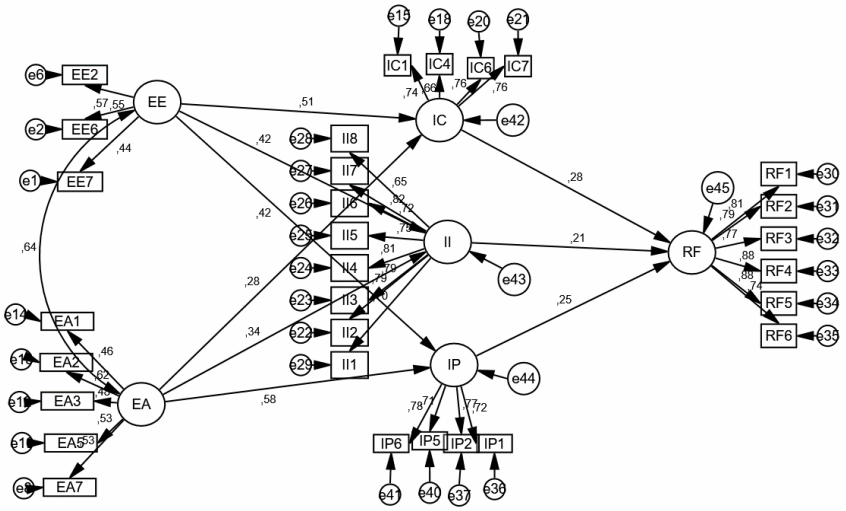
Source: Own elaboration.

After the adjustments made, an improvement was obtained in the goodness-of-fit indicators, i.e., RFI and NFI were 0.962 and 0.966 respectively, exceeding the thresholds of 0.9 suggested in the literature; the SRMR decreased to a value of 0.0163, which is satisfactory. Additionally, this model presented $\chi^2 = 527.46$ with $.l. = 449$, i.e., $\chi^2 / g.l. = 1.17$, a value that meets the range between 1 and 3 ($p < 0.01$).

The new reliability and validity indicators showed improvement in relation to the initial model; composite reliability has, in all cases, values higher than 0.70 except LSCS with a value of 0.624, which can be considered moderate. For AVE, the 0.5 boundary has been considered very strict (Malhotra & Dash, 2011). Therefore, only the convergence of LSCS could be mentioned as weak. However, it was proved that the indicators are statistically significant, and we proceeded to analyze the discriminant validity. AVE of SI in the improved model was 0.751 higher than the correlations with CI (0.724) and LSCS (0.721), managing to fulfill the discrimination of the factors SI, II, and FP. In the other factors, discriminant validity is not fully satisfied. However, we proceeded to continue to privilege maintaining a greater number of items.

One of the characteristics of these models is that they should be free of Heywood cases, which occur when there are negative variances and/or factor loadings greater than one. During SEM analysis, some factor loadings greater than one were present, and therefore, the coefficients of the relationships that reach the variables CI, II, and SI from LSCS had to be equalized, thus eliminating the problem (Figure 3).

Figure 3. Graph Path of Complete SEM Model.



Source: Own elaboration.

Figure 3 shows the final structural model (i.e., definitive relationships and the observable variables that contribute to their respective latent variables); the standardized coefficients or factor loadings and some goodness-of-fit indicators are also shown. In all cases, the indicators were adequate; the NFI (0.953), RFI (0.949), and GFI (0.964) exceeded the threshold of 0.90; in addition, the residuals indicator SRMR (0.069) is less than 0.08. Additionally, this model presented $\chi^2 = 600.40$ with $.l. = 398$, i.e., $\chi^2 / g.l. = 1.50$, a value that meets the range between 1 and 3 ($p < 0.001$). Considering the positive results of the model fit, it is necessary to analyze the statistical significance of the standardized and unstandardized regression coefficients with the bootstrapping technique.

Table 4. Standardized coefficients of the SEM Model.

Parameter			Estimate	Lower	Upper	*p*
II	←	LSCS	0.420	0.269	0.616	0.002
II	←	ALSC	0.345	0.022	0.519	0.089
CI	←	LSCS	0.512	0.301	0.744	0.003
SI	←	ASCS	0.579	0.469	0.689	0.004
CI	←	ASCS	0.283	0.009	0.518	0.092
SI	←	LSCS	0.415	0.287	0.604	0.002
FP	←	II	0.211	-0.08	0.42	0.164
FP	←	CI	0.276	0.035	0.499	0.068
FP	←	SI	0.251	-0.015	0.735	0.109

Source: Own elaboration.

Table 4 shows the constructs' relationships, loading estimation values, their confidence intervals, and *p*-values. It is concluded that construct II does not significantly explain FP ($p > 0.05$). SI does not significantly impact FP either ($p > 0.01$); the CI construct explains significantly the relationship with FP ($p < 0.01$). The other relationships are statistically significant at 95%, except for LSCS to CI, which is significant at 90%.

Additionally, it was detected that LSCS is highly correlated with ASCS; the coefficient found was 0.645 ($p < 0.05$). With respect to the coefficients of determination, all of them were found to be statistically significant; 39.7% of the variance of FP is explained by the model, which is considered a moderately high explanation for SEM. SI is explained 81.7% by the ASCS and LSCS factors, while II is 48.2% explained by the same ASCS and LSCS latent variables. This indicates that the direct effects between the exogenous and mediating variables were significant.

Therefore, the direct hypotheses related to the quantitative study can be validated:

*H*1: Lean supply chain strategy (LSCS) is positively related to internal integration (II).

Given the *p*-value, it can be stated that indeed lean supply chain strategy does have a direct and positive effect on II, with a positive coefficient of 0.420 and a *p*-value = 0.002. Therefore, *H*1 is accepted.

H2: Lean supply chain strategy (LSCS) is positively related to customer integration (CI).

It can be stated that indeed lean supply chain strategy has a direct positive effect on CI since the coefficient is positive (0.5120) and the *p*-value = 0.003. Therefore, *H*2 is accepted.

H3: Lean supply chain strategy (LSCS) is positively related to supplier integration (SI).

The tendency is maintained in affirming that indeed the lean supply chain strategy does have a direct positive effect on SI given that the coefficient is positive (0.415) and the *p*-value = 0.002. Therefore, *H*3 is accepted.

H4: Agile supply chain strategy (ASCS) is positively related to internal integration (II).

Agile supply chain strategy has a direct positive effect on II (coefficient of 0.345), with 90% confidence. Therefore, *H*4 is accepted.

H5: Agile supply chain strategy (ASCS) is positively related to customer integration (CI).

Agile supply chain strategy affects CI performance (coefficient of 0.283), with 90% confidence. Therefore, *H*5 is accepted.

H6: Agile supply chain strategy (ASCS) is positively related to supplier integration (SI).

It can be stated that indeed agile supply chain strategy does have a direct positive effect on SI because the coefficient is positive (0.579) and the *p*-value = 0.004. Therefore, *H*6 is accepted.

H7: Internal integration (II) is positively related to financial performance.

No significant direct effect of II on financial performance was found because its significance *p*-value > 0.05 (0.164). Therefore, *H*7 is not accepted.

H8: Customer integration (CI) is positively related to financial performance.

Integration with customers affects financial performance (coefficient of 0.276) at 90% confidence. Therefore, *H*8 is accepted.

H9: Supplier integration (SI) is positively related to financial performance.

Integration with suppliers presents a *p*-value = 0.109, close to 90% significance. Therefore, it can be stated that the hypothesis is not satisfied at 95%. Therefore, *H*9 is not accepted.

The study showed that no matter what type of supply chain strategy is used, customer integration is important for the organization as demonstrated in hypothesis *H*8; this is in line with previous work in this field (Qi et al., 2017). Additionally, our findings suggest that lean SCS requires greater integration with customers than with suppliers and internal integration itself; this is in contrast to the work of Choi and Wu (2009) in which lean SCS requires very close relationships with suppliers. Possible explanations are, first, that our result can be justified by the close relationship that exporting SMEs develop with their customers, and second, that many SMEs operate not entirely as agile or lean companies. Such companies have been characterized in the literature as having a hybrid supply chain or leagile (Christopher et al., 2006). This new construct is characterized by the appearance of a decoupling point which determines where the lean emphasis stops and the agile emphasis begins. This construct can act as an unobserved cofounding factor in our model which presents an interesting avenue for future research. On the other hand, it was found that agile SCS requires a higher level of integration with suppliers than with customers; this finding is consistent with that of Lee (2004) and Swafford et al. (2006), which is valid given the level of relationship that companies develop with their suppliers, especially when flexibility is important in order fulfillment. These types of relationships enable firms to influence their supplier manufacturing process. An agile SCS should explore various supplier and logistics network options to ensure rapid response to changing demand and supply conditions (Stavrulaki & Davis, 2010). Another important finding is that the need for internal integration is greater in the case of lean SCS than in agile SCS, which is consistent with studies conducted in China on this

topic. Similar or different results cannot be validated with countries in the region, as this is, to the best of the researcher's knowledge, the first study conducted on this topic in Latin America.

Contrary to expectation, internal integration is not related to financial performance (Flynn et al., 2010; Qi et al., 2017). There are two possible explanations for this. First, companies in our sample have achieved a relatively high level of internal integration so that its effects on financial performance at such a level are minuscule. This is supported by the fact that in recent years the implementation of information systems for management has been widespread (Olhager & Selldin, 2003). Second, the information was collected during the pandemic, which could have affected the response of the interviewees. This evidence points out that internal integration might have a mediating role in financial performance either through customer or supplier integration which indicates a necessity for new research into these effects. In this research, the construct external integration was divided into integration with suppliers and integration with customers, to extend the analysis to the relationship of these constructs with financial performance. It was determined that integration with customers is positively related to financial performance; this implies that information sharing and follow-up for feedback with customers contribute to financial performance in serving customers. This finding is similar to that of Koufteros et al. (2005) which showed that CI can enhance financial performance through quality and innovation performance and with Yu et al. (2013), who further established the mediating effect that customer satisfaction has on this relationship. Integration with suppliers does not influence organizational performance. This finding is consistent with Flynn et al. (2010); however, Zhao et al. (2008) pointed out that this may be because the effect of suppliers on financial performance is nonlinear. Previous studies have been inconsistent in their findings of the relationship between external integration and financial performance. We present two possible explanations. First, supplier integration requires heavy investments such as information systems, supplier quality assurance, and human resources for process coordination which can lead to diminished financial performance. Second, supply chains in the region are more focused on customer integration than supplier integration as pointed out in surveys conducted by Tanco et al. (2018).

Yu et al. (2013) noted, for example, that external integration, understood as integration with customers and integration with suppliers, does not have a positive relationship with financial performance, probably due to the mediation or moderation of some other variable. Flynn et al. (2010) provided preliminary evidence pointing to the importance of including internal integration in the development of supply chain integration patterns, which provides a vital link between customer integration and supplier integration, without which firms cannot reap the full benefits of their integration efforts. The findings of Flynn et al. (2010) could not be corroborated in this research. However, it was found that in the model proposed, financial performance is explained by 39.7%, a value considered moderately high for a system of structural equations. Supplier integration, internal integration, and customer integration are 81.7%, 48.2%, and 52.9% explained by the factors lean SCS and agile SCS. This indicates that the direct effects between the exogenous variables and the mediating variables were significant. In addition, the variables lean SCS and agile SCS contribute to explaining financial performance through the mediating variables supplier integration, internal integration, and customer integration. In all cases, the models had adequate goodness-of-fit indicators.

6. Theoretical and Managerial Implications

Research in supply chain management is highly theoretical (Naim & Gosling, 2011), meaning there is a lack of empirical research in the field. Our study contributes to filling this gap by investigating the role of supply chain integration in Peruvian export SMEs. Likewise, the role of supply chain management in SMEs is largely not understood because of the lack of research in this area (Kull et al., 2018). Our study helps to understand the different challenges and opportunities that supply chain management entails for SMEs. We remark that this research offers a complete vision of the panorama of supply chain in SMEs and that further and deeper studies such as longitudinal or randomized studies are needed which can broaden the range of phenomena studied and give rise to the creation of new

theoretical perspectives and constructs. Furthermore, our study of Peruvian export SMEs contributes to the knowledge of supply chain management in developing countries which is lacking especially in Latin America (Tanco et al., 2018). This study also has theoretical implications and suggests lines of research that will help to extend the knowledge of SCS and SCI and their relationship with the financial performance of the companies indicated. Although the study was conducted for exporting companies, the methodology used can be replicated for companies that operate only in local markets.

One reason neither internal integration (II) nor supplier integration (SI) fails to influence financial performance (FP) directly is that they require various levels of investment not directly related to the main objective of a supply chain (to provide maximum value to the customer) which is necessarily customer oriented. Key suppliers and customers are the primary source of information which is a key input in the organizational decision-making process and necessary to attain financial performance. That is why we argue that the constructs II and SI are necessary for companies as they represent capabilities which they are required to use to create financial value. If firms have a weak internal integration, such as poor internal data integration, less communication among functions, or no teamwork, it will be difficult for them to adequately maintain good relations with customers and suppliers. Given the earlier work that argues and provides partial support in direct contrast with our arguments, our findings are intriguing and complementary.

Currently, organizations determinedly attempt to obtain competitive edge, and this research suggests, which we present as our major managerial implication, that depending on which operation strategies are used, companies should intentionally develop different integration capabilities. Companies with a lean operational focus should strive to develop greater integration with customers. Likewise, companies with an agile operational focus should strive to develop greater integration with suppliers. Internal integration should be developed for both types of operational strategies, but lean companies should pay special attention to it. In addition, managers should work together to design supply chain strategies and supply chain integration and pay attention to how they are linked. Our findings indicate that companies wishing to apply concepts of supply chain integration, but which are limited in resources, should start with customer integration as is the construct most directly related to financial performance. When no such constraints exist, all three constructs of supply chain integration should be developed. The results obtained in this research have implications for business managers who want to learn about the effects that the implementation of SCS have on a company's financial performance.

7. Conclusion and scope of future research

This research focused on analyzing a holistic model between supply chain strategies, their integration, and the financial performance of an organization. The study was applied to Peruvian export SMEs, according to ISIC REV. 4.0. This work had the peculiarity of having been carried out during the COVID-19 pandemic, which significantly affected all companies and highlighted the role that the supply chain plays both locally and globally.

The descriptive analysis of the data allowed us to obtain the most relevant characteristics of the participants in this study. After looking for sources of bias and testing the validity of our framework, a structural equation model was developed to test the nine hypotheses. The different models were evaluated through goodness-of-fit indicators. Seven of the nine proposed hypotheses were accepted. Findings indicate that companies should prioritize their integration effort depending on the type of supply chain strategy they use.

Likewise, we demonstrate empirical evidence that customer integration is directly related to a firm's financial performance, for which we have also presented ample evidence in the literature. Through effective relationships with customers, firms are more likely to acquire and absorb knowledge quickly and effectively, which leads to competitive advantage. It seems that the lack of direct effect of

internal integration is because internal integration is a construct that affects financial performance indirectly only with a mediating relationship with customer and supplier integration, which could not have been corroborated in this research as our model did not include this effect, but it is a relationship which has been found for other types of performance in other research (Jajja et al., 2016).

This study fills two gaps in the literature. First, there is a tendency not to study SMEs in the supply chain management field, and our study serves to fill this gap in the literature. Second, supply chain management research in Latin America is lacking, and our study serves to fill this gap in the literature. Our study also extends the framework developed by Qi et al. (2017) by separating the construct of external integration into customer integration and supplier integration which allowed us to find the importance of customer integration to a firm's financial performance, a result which could not be corroborated in the original framework.

An extensive review of the literature revealed no studies of this type in the region, and most of the research conducted is from first-world countries or developing countries with economies that are much more developed than those of Latin America. Therefore, this study responds to the need to find answers to the development of supply chain strategies and the generation of competitive advantage in Peruvian export-manufacturing SMEs. This research is based on the same dynamic capabilities of a company that are transferable to the supply chain context (Qi et al., 2017).

8. Recommendations for future research

A clear understanding of the meaning and implications that supply chain strategies have in organizations in the region is still emerging, so more studies in other Latin American countries is recommended. Instruments that are in line with the new realities, regarding new technologies, should be evaluated.

Because the study was conducted for Peruvian export SMEs according to ISIC REV. 4.0, it is difficult to generalize the results obtained, so it is recommended that future research broaden the spectrum to other types of companies. In addition, the timeframe of the study is cross-sectional, so longitudinal studies are recommended.

Neither internal integration (II) nor supplier integration (SI) directly relates to financial performance (FP), but we hypothesize that they might be related indirectly through other constructs which can serve a mediating role such as operation performance and flexibility; we leave the study of this relationship to future research.

As the data were collected only from Peruvian export SMEs, future studies can broaden their scope by collecting data from all supply chain partners, including suppliers, manufacturers, and customers. The development of biosecurity policies, due to the COVID19 pandemic, could alter factors that influence the supply chain from operations strategies, which would mean defining new measurement instruments for them; this could be investigated and included in the new models that will be proposed in the future.

References

Acar, A.Z., Zehir, C., & Tanriverdi, H. (2006). Identifying organizational capabilities as predictors of growth and business performance. *The Business Review, Cambridge*, *5*, 109-116.

Ahmad, S., & Schroeder, R.G. (2001). The impact of electronic data interchange on delivery performance. *Production and Operations Management*, *10*(1), 16-30. https://doi.org/10.1111/j.1937-5956.2001.tb00065.x

Alfalla-Luque, R., & Medina-López, C. (2009). Supply chain management: Unheard of in the 1970s, core to today's company. *Business History*, *51*(2), 202-221. https://doi.org/10.1080/00076790902726558

Araya, A. (2016). *El Proceso de Internacionalización de Empresas | Tec Empresarial*. https://revistas.tec.ac.cr/index.php/tec_empresarial/article/view/653

Ayán, M.N.R., & Díaz, M.Á.R. (2008). Atenuación de la asimetría y de la curtosis de las puntuaciones observadas mediante transformaciones de variables: Incidencia sobre la estructura factorial. *Psicológica*, *29*(2), 205-227.

Boyatzis, R.E., & Gaskin, J. (2010). *A technical note on the ESCI and ESCI-U: Factor structure, reliability, convergent and discriminant validity using EFA and CFA*. Boston: Hay Group.

Brown, T.A. (2015). *Confirmatory factor analysis for applied research* (2nd ed.). Guilford: Guilford Publication.

Chen, I.J., & Paulraj, A. (2004). Understanding supply chain management: Critical research and a theoretical framework. *International Journal of Production Research*, *42*(1), 131-163. https://doi.org/10.1080/00207540310001602865

Choi, T.Y., & Wu, Z. (2009). Triads in supply networks: Theorizing buyer-supplier-supplier relationships. *Journal of Supply Chain Management*, *45*(1), 8-25. https://doi.org/10.1111/j.1745-493X.2009.03151.x

Christopher, M. (2000). The agile supply chain: Competing in volatile markets. *Industrial Marketing Management*, *29*(1), 37-44. https://doi.org/10.1016/S0019-8501(99)00110-8

Christopher, M., Peck, H., & Towill, D. (2006). A taxonomy for selecting global supply chain strategies. *The International Journal of Logistics Management, 17*(2), 277-287. https://doi.org/10.1108/09574090610689998

De Toni, A., & Tonchia, S. (2001). Performance measurement systems. Models, characteristics and measures. *International Journal of Operations & Production Management*, *21*(1/2), 46-71. https://doi.org/10.1108/01443570110358459

Ellinger, A.E., Daugherty, P.J., & Keller, S.B. (2000). The relationship between marketing/logistics interdepartmental integration and performance in US manufacturing firms: An empirical study. *Journal of Business Logistics*, *21*(1), 1-22.

Fisher, M. (1997). What is the right supply chain for your product? *Harvard Business Review, 75,* 105-116. https://hbr.org/1997/03/what-is-the-right-supply-chain-for-your-product

Flynn, B.B., Huo, B., & Zhao, X. (2010). The impact of supply chain integration on performance: A contingency and configuration approach. *Journal of Operations Management*, *28*(1), 58-71. https://doi.org/10.1016/j.jom.2009.06.001

Forero, C.G., Maydeu-Olivares, A., & Gallardo-Pujol, D. (2009). Factor analysis with ordinal indicators: A Monte Carlo study comparing DWLS and ULS estimation. *Structural Equation Modeling: A Multidisciplinary Journal*, *16*(4), 625-641. https://doi.org/10.1080/10705510903203573

Frohlich, M.T., & Westbrook, R. (2001a). Arcs of integration: An international study of supply chain strategies. *Journal of Operations Management*, *19*(2), 185-200. https://doi.org/10.1016/S0272-6963(00)00055-3

Frohlich, M.T., & Westbrook, R. (2001b). Arcs of integration: An international study of supply chain strategies. *Journal of Operations Management*, *19*(2), 185-200. https://doi.org/10.1016/S0272-6963(00)00055-3

Garcés, B.L.S., & Landa, S.D.R. (2019). Análisis de los determinantes y costos de la informalidad en las pequeñas empresas: un estudio empírico para el Perú / Analysis of determinants and costs of informality in small businesses: An empirical study for Peru. *Revista de Métodos Cuantitativos para la Economía y la Empresa*, *27*, 156-165.

Gaskin, J., & Lim, J. (2016). Master validity tool. *AMOS Plugin In: Gaskination's StatWiki*.

Gunasekaran, A., & Yusuf, Y.Y. (2002). Agile manufacturing: A taxonomy of strategic and technological imperatives. *International Journal of Production Research*, *40*(6), 1357-1385. https://doi.org/10.1080/00207540110118370

Henseler, J., Ringle, C.M., & Sarstedt, M. (2012). Using partial least squares path modeling in advertising research: Basic concepts and recent issues. In S. Okazaki (Ed.), *Handbook of research on international advertising* (pp. 252-277). https://www.elgaronline.com/view/edcoll/9781848448582/9781848448582.00023.xml

Holt, D.T., Madison, K., & Kellermanns, F.W. (2017). Variance in family members' assessments: The importance of dispersion modeling in family firm research. *Family Business Review*, *30*(1), 61-83. https://doi.org/10.1177/0894486516673700

Hsu, C.-C., Kannan, V.R., Tan, K.-C., & Leong, G.K. (2008). Information sharing, buyer-supplier relationships, and firm performance. *International Journal of Physical Distribution & Logistics Management, 38*(4), 296-310. https://doi.org/10.1108/09600030810875391

Huh, S., Yook, K.-H., & Kim, I. (2008). Relationship between organizational capabilities and performance of target costing: An empirical study of Japanese companies. *Journal of International Business Research*, *7*(1), 91-107.

Humphrey, J., & Schmitz, H. (2002). *Developing country firms in the world economy: Governance and upgrading in global value chains* (INEF Report No. 61). Duisburg: University of Duisburg.

Huo, B. (2012). The impact of supply chain integration on company performance: An organizational capability perspective. *Supply Chain Management: An International Journal*, *17*(6), 596-610. https://doi.org/10.1108/13598541211269210

Huo, B., Han, Z., Zhao, X., Zhou, H., Wood, C.H., & Zhai, X. (2013). The impact of institutional pressures on supplier integration and financial performance: Evidence from China. *International Journal of Production Economics*, *146*(1), 82-94. https://doi.org/10.1016/j.ijpe.2013.01.013

Huo, B., Qi, Y., Wang, Z., & Zhao, X. (2014). The impact of supply chain integration on firm performance: The moderating role of competitive strategy. *Supply Chain Management: An International Journal*, *19*(4), 369-384. https://doi.org/10.1108/SCM-03-2013-0096

Hussain, M., Ajmal, M.M., Khan, M., & Saber, H. (2015). Competitive priorities and knowledge management: An empirical investigation of manufacturing companies in UAE. *Journal of Manufacturing Technology Management, 26*(6), 791-806. https://doi.org/10.1108/JMTM-03-2014-0020

Jacobs, F.R., Chase, R.B., & Lummus, R.R. (2014). *Operations and supply chain management*. New York: McGraw-Hill/Irwin.

Jajja, M.S.S., Chatha, K.A., & Farooq, S. (2018). Impact of supply chain risk on agility performance: Mediating role of supply chain integration. *International Journal of Production Economics*, *205*, 118-138. https://doi.org/10.1016/j.ijpe.2018.08.032

Jajja, M.S.S., Kannan, V.R., Brah, S.A., & Hassan, S.Z. (2016). Supply chain strategy and the role of suppliers: Evidence from the Indian sub-continent. *Benchmarking: An International Journal, 23*(7), 1658-1676. https://doi.org/10.1108/BIJ-06-2014-0058

Jasti, N.V.K., & Kodali, R. (2015). A critical review of lean supply chain management frameworks: Proposed framework. *Production Planning & Control*, *26*(13), 1051-1068. https://doi.org/10.1080/09537287.2015.1004563

Kim, S.W. (2009). An investigation on the direct and indirect effect of supply chain integration on firm performance. *International Journal of Production Economics*, *119*(2), 328-346. https://doi.org/10.1016/j.ijpe.2009.03.007

Kline, R.B. (2015). *Principles and practice of structural equation modeling* (4th ed.). New York: Guilford.

Koufteros, X., Vonderembse, M., & Jayaram, J. (2005). Internal and external integration for product development: The contingency effects of uncertainty, equivocality, and platform strategy. *Decision Sciences*, *36*(1), 97-133. https://doi.org/10.1111/j.1540-5915.2005.00067.x

Kull, T.J., Kotlar, J., & Spring, M. (2018). Small and medium enterprise research in supply chain management: The case for single-respondent research designs. *Journal of Supply Chain Management*, *54*(1), 23-34. https://doi.org/10.1111/jscm.12157

La Porta, R., Lopez-de-Silanes, F., & Shleifer, A. (1999). Corporate ownership around the world. *The Journal of Finance*, *54*(2), 471-517. https://doi.org/10.1111/0022-1082.00115

Lee, H. L. (2004). The triple-A supply chain. *Harvard Business Review*, *82*(10), 102-113.

Liu, Y., & Liang, L. (2015). Evaluating and developing resource-based operations strategy for competitive advantage: An exploratory study of Finnish high-tech manufacturing industries. *International Journal of Production Research*, *53*(4), 1019-1037. https://doi.org/10.1080/00207543.2014.932936

Malhotra, M.K., & Grover, V. (1998). An assessment of survey research in POM: From constructs to theory. *Journal of Operations Management*, *16*(4), 407-425. https://doi.org/10.1016/S0272-6963(98)00021-7

Malhotra, N.K., & Dash, S. (2011). *Marketing research an applied orientation*. London: Pearson.

Manosalvas, V. (2018). *Estilos de liderazgo e intercambio de conocimiento: Análisis del efecto mediador del clima de aprendizaje organizacional* [Doctoral dissertation, Pontificia Universidad Católica del Perú]. http://tesis.pucp.edu.pe/repositorio/handle/20.500.12404/10237

Mardia, K.V. (1970). Measures of multivariate skewness and kurtosis with applications. *Biometrika*, *57*(3), 519-530. https://doi.org/10.1093/biomet/57.3.519

Marin-Garcia, J.A., Alfalla-Luque, R., & Medina-López, C. (2014). Internal and external supply chain integration: Construct definition and validation. In J. C. Prado-Prado & J. García-Arca (Eds.), *Annals of industrial engineering 2012* (pp. 115-122). Springer. https://doi.org/10.1007/978-1-4471-5349-8_14

Naim, M.M., & Gosling, J. (2011). On leanness, agility and leagile supply chains. *International Journal of Production Economics*, *131*(1), 342-354. https://doi.org/10.1016/j.ijpe.2010.04.045

Narasimhan, R., & Kim, S.W. (2002). Effect of supply chain integration on the relationship between diversification and performance: Evidence from Japanese and Korean firms. *Journal of Operations Management*, *20*(3), 303-323. https://doi.org/10.1016/S0272-6963(02)00008-6

Olhager, J., & Selldin, E. (2003). Enterprise resource planning survey of Swedish manufacturing firms. *European Journal of Operational Research*, *146*(2), 365-373. https://doi.org/10.1016/S0377-2217(02)00555-6

Qi, Y., Huo, B., Wang, Z., & Yeung, H.Y.J. (2017). The impact of operations and supply chain strategies on integration and performance. *International Journal of Production Economics*, *185*, 162-174. https://doi.org/10.1016/j.ijpe.2016.12.028

Qrunfleh, S., & Tarafdar, M. (2013). Lean and agile supply chain strategies and supply chain responsiveness: The role of strategic supplier partnership and postponement. *Supply Chain Management: An International Journal, 18*(6), 571-582. https://doi.org/10.1108/SCM-01-2013-0015

Quesada, G., Rachamadugu, R., Gonzalez, M., & Martinez, J.L. (2008). Linking order winning and external supply chain integration strategies. *Supply Chain Management: An International Journal, 13*(4), 296-303. https://doi.org/10.1108/13598540810882189

Ralston, P.M., Blackhurst, J., Cantor, D.E., & Crum, M.R. (2015). A structure–conduct–performance perspective of how strategic supply chain integration affects firm performance. *Journal of Supply Chain Management*, *51*(2), 47-64. https://doi.org/10.1111/jscm.12064

Rodríguez, H.A.R., & Figueroa, L.S. (2013). Capacidades dinámicas, una fuente de ventaja competitiva. *Criterio Libre*, *11*(19), 245-261. https://doi.org/10.18041/1900-0642/criteriolibre.2013v11n19.1110

Roh, J., Hong, P., & Min, H. (2014). Implementation of a responsive supply chain strategy in global complexity: The case of manufacturing firms. *International Journal of Production Economics*, *147*, 198-210. https://doi.org/10.1016/j.ijpe.2013.04.013

Roncal, A. (2019). Las medianas empresas se ponen al día en digitalización. *Semana Económica*. https://semanaeconomica.com/management/digitalizacion/363452-las-medianas-se-ponen-al-dia

Ruiz-Torres, A.J., Mahmoodi, F., & Ayala-Cruz, J. (2012). Supply chain management research in Latin America: A review. *Supply Chain Forum: An International Journal*, *13*(1), 20-36. https://doi.org/10.1080/16258312.2012.11517285

Saeed, K., Malhotra, M., & Grover, V. (2005). Examinig the impact of interorganizational system on process efficiency and sourcing leverage in buyer-supplier dyads. *Decision Sciences, 36*(3), 365-396.

Saini, A., & Johnson, J.L. (2005). Organizational capabilities in e-commerce: An empirical investigation of e-brokerage service providers. *Journal of the Academy of Marketing Science*, *33*(3), 360-375. https://doi.org/10.1177/0092070305276150

Schoenherr, T., & Swink, M. (2012). Revisiting the arcs of integration: Cross-validations and extensions. *Journal of Operations Management*, *30*(1-2), 99-115. https://doi.org/10.1016/j.jom.2011.09.001

Schreiber, J.B., Nora, A., Stage, F.K., Barlow, E.A., & King, J. (2006). Reporting structural equation modeling and confirmatory factor analysis results: A review. *The Journal of Educational Research*, *99*(6), 323-338. https://doi.org/10.3200/JOER.99.6.323-338

Shavarini, S.K., Salimian, H., Nazemi, J., & Alborzi, M. (2013). Operations strategy and business strategy alignment model (case of Iranian industries). *International Journal of Operations & Production Management, 33*(9), 1108-1130. https://doi.org/10.1108/IJOPM-12-2011-0467

Shou, Y., Hu, W., Kang, M., Li, Y., & Park, Y.W. (2018). Risk management and firm performance: The moderating role of supplier integration. *Industrial Management & Data Systems*, *118*(7), 1327-1344. https://doi.org/10.1108/IMDS-09-2017-0427

SIPC Market Intelligence. (2019). *Nota de prensa exportaciones Perú*. Commission for the Promotion of Peru for Exports and Tourism. https://exportemos.pe/inteligencia-para-exportar/publicaciones-y-multimedia

Skinner, W. (1969, May 1). Manufacturing-Missing link in corporate strategy. *Harvard Business Review, 47*(3), 136-145. https://hbr.org/1969/05/manufacturing-missing-link-in-corporate-strategy

Stank, T.P., Keller, S.B., & Daugherty, P.J. (2001). Supply chain collaboration and logistical service performance. *Journal of Business Logistics*, *22*(1), 29-48. https://doi.org/10.1002/j.2158-1592.2001.tb00158.x

Stavrulaki, E., & Davis, M. (2010). Aligning products with supply chain processes and strategy. *The International Journal of Logistics Management, 21*(1), 127-151. https://doi.org/10.1108/09574091011042214

Swafford, P.M., Ghosh, S., & Murthy, N.N. (2006). A framework for assessing value chain agility. *International Journal of Operations & Production Management, 26*(2), 118-140. https://doi.org/10.1108/01443570610641639

Tanco, M., Escuder, M., Heckmann, G., Jurburg, D., & Velazquez, J. (2018). Supply chain management in Latin America: Current research and future directions. *Supply Chain Management: An International Journal*, *23*(5), 412-430. https://doi.org/10.1108/SCM-07-2017-0236

Thakkar, J., & Deshmukh, S.G. (2008). Supply chain management in SMEs: Development of constructs and propositions. *Asia Pacific Journal of Marketing and Logistics*, *20*, 97-131. https://doi.org/10.1108/13555850810844896

United Nations Department of Economic and Social Affairs, Statistics Division. (2008). *International standard industrial classification of all economic activities* (Statistical papers Series M No. 4/Rev.4). https://unstats.un.org/unsd/publication/seriesm/seriesm_4rev4e.pdf

Urmeneta, R. (2016). *Dinámica de las empresas exportadoras en América Latina: El aporte de las PYMES*. CEPAL. https://www.cepal.org/es/publicaciones/40296-dinamica-empresas-exportadoras-america-latina-aporte-pymes

Verona, G. (1999). A resource-based view of product development. *Academy of Management Review*, *24*(1), 132-142. https://doi.org/10.5465/amr.1999.1580445

Vickery, S.K., Jayaram, J., Droge, C., & Calantone, R. (2003). The effects of an integrative supply chain strategy on customer service and financial performance: An analysis of direct versus indirect relationships. *Journal of Operations Management*, *21*(5), 523-539. https://doi.org/10.1016/j.jom.2003.02.002

Ward, P.T., Duray, R., Keong Leong, G., & Sum, C.-C. (1995). Business environment, operations strategy, and performance: An empirical study of Singapore manufacturers. *Journal of Operations Management*, *13*(2), 99-115. https://doi.org/10.1016/0272-6963(95)00021-J

Won Lee, C., Kwon, I.G., & Severance, D. (2007). Relationship between supply chain performance and degree of linkage among supplier, internal integration, and customer. *Supply Chain Management: An International Journal*, *12*(6), 444-452. https://doi.org/10.1108/13598540710826371

Yang-Wallentin, F., Jöreskog, K.G., & Luo, H. (2010). Confirmatory factor analysis of ordinal variables with misspecified models. *Structural Equation Modeling: A Multidisciplinary Journal*, *17*(3), 392-423. https://doi.org/10.1080/10705511.2010.489003

Yu, W., Jacobs, M.A., Salisbury, W.D., & Enns, H. (2013). The effects of supply chain integration on customer satisfaction and financial performance: An organizational learning perspective. *International Journal of Production Economics*, *146*(1), 346-358. https://doi.org/10.1016/j.ijpe.2013.07.023

Zhao, X., Huo, B., Flynn, B.B., & Yeung, J.H.Y. (2008). The impact of power and relationship commitment on the integration between manufacturers and customers in a supply chain. *Journal of Operations Management*, *26*(3), 368-388. https://doi.org/10.1016/j.jom.2007.08.002

APPENDIX A

Table A1. Factor Operationalization.

Lean SCS	● (**LSCS1**) Our supply chain provides products with predictable demand. ● (**LSCS2**) Our supply chain reduces waste as much as possible. ● (**LSCS3**) Our supply chain reduces costs through high volume production. ● (**LSCS4**) Our supply chain provides standardized products to customers. ● (**LSCS5**) Our supply chain maintains a long and stable relationship with a small number of suppliers. ● (**LSCS6**) Our supply chain selects suppliers based on their cost and quality performance. ● (**LSCS7**) The structure of our supply chain rarely changes.
Agile SCS	● (**ASCS1**) Our supply chain constantly faces customer-demand volatility. ● (**ASCS2**) Our supply chain responds quickly to the changing market environment. ● (**ASCS3**) Our supply chain maintains increased storage capacity to respond to market volatility. ● (**ASCS4**) Our supply chain provides customized products to customers. ● (**ASCS5**) Our supply chain selects suppliers based on their performance in flexibility and responsiveness. ● (**ASCS6**) Our supply chain needs to maintain a fast and flexible relationship with many suppliers. ● (**ASCS7**) The structure (capacity) of our supply chain changes frequently to cope with market volatility.
Internal Integration	● (**II1**) We integrate data between internal functions through an information network. ● (**II2**) We have an information system that integrates all functional areas. ● (**II3**) We monitor inventory levels in the chain in real time. ● (**II4**) We consult in real time operational data related to logistics. ● (**II5**) We integrate information into the production process.

	● (**II6**) We manage inventory in a systematic way. ● (**II7**) We have a system that integrally facilitates the interaction between production and sales. ● (**II8**) We hold meetings with established frequencies between functional areas.
Client Integration	● (**SI1**) We follow up with customers to obtain feedback. ● (**SI2**) We implement computerized systems for customers to manage their orders. ● (**SI3**) Our direct link with customers is through a computer network. ● (**SI4**) We exchange market information with customers. ● (**SI5**) We establish contacts with established frequency with customers. ● (**SI6**) We are agile in processing orders. ● (**SI7**) We have high levels of communication with customers.
Supplier Integration	● (**SI1**) We exchange information with suppliers through information technology. ● (**SI2**) We have a strategic relationship with our main suppliers. ● (**SI3**) There are levels of supplier participation in the design stage. ● (**SI4**) We have levels of supplier participation in the procurement and production process. ● (**SI5**) We have a fast-ordering system. ● (**SI6**) There are constant purchasing levels through the supplier network.
Financial Performance	● (**FP1**) Return on investments (ROI). ● (**FP2**) Return on sales (ROS). ● (**FP3**) Market share. ● (**FP4**) Return on investment (ROI) growth. ● (**FP5**) Growth in return on sales (ROS). ● (**FP6**) Growth in market share.

Source: Own elaboration.

REVISTA DE MÉTODOS CUANTITATIVOS PARA LA ECONOMÍA Y LA EMPRESA (33). Páginas 74-92.
Junio de 2022. ISSN: 1886-516X. D.L: SE-2927-06.
www.upo.es/revistas/index.php/RevMetCuant/article/view/5567

Equilibrio en un mercado oligopólico con una firma dominante en el mercado de las tarjetas de pago

ESCOBAR ELEXPURU, GONZALO
Universidad Andrés Bello
Correo electrónico: gonzalo.escobar@unab.cl

VALDÉS DE LA FUENTE, IVÁN
Universidad de Tarapacá (Chile)
Correo electrónico: imvaldesd@academicos.uta.cl

RESUMEN

El objetivo del presente trabajo es validar la existencia de poder de mercado ejercido por una firma integrada verticalmente en el mercado de procesamiento de operaciones realizadas mediante tarjetas de pago. La metodología usada se basa en el análisis de la variación de ese indicador como resultado de la potencial entrada de una franja de firmas en el mercado de la afiliación de comercios, lo que presiona a un mayor nivel de competencia distribuidor en la industria. Para lograr lo anterior, se utiliza como modelo a seguir una estructura oligopólica donde hay una empresa líder y una franja de empresas que compiten con esta, es decir, el trabajo está basado en un juego a la Stackelberg, buscando una estimación econométrica de forma indirecta a través de la elasticidad de demanda residual. Como resultado es que se obtiene para el periodo comprendido entre enero de 2013 a mayo de 2020, un poder de mercado que evoluciona de forma directa con la cuota de mercado de la firma líder del mercado, siendo los niveles igual a 1.14% a 114.35%, siendo este último valor el que predomina en la práctica en dicho mercado.

Palabras clave: integración vertical, mercado de dos lados, poder de mercado.
Clasificación JEL: L11; L13; L14.
MSC2010: 62P20; 91B24.

Artículo recibido el 14 de enero de 2021 y aceptado el 16 de septiembre de 2021.

Equilibrium in an oligopoly market with a dominant firm in the payment card market

ABSTRACT

The main aim of this research is to measure the variation of market power exercised by a vertically integrated firm in the market of transactions carried out through payment cards, because of changes given by the entry of competitive firms in the market of purchasing shops, which increase the level of downstream competition in the industry. To achieve this, it is used as a model based on an oligopolistic structure where there is a leading firm and a fringe of competitive firms that compete each other, based on Stackelberg competition. The econometric model estimates indirectly the residual elasticity demand for the period January 2013-May 2020. As a result, the market power is directly related to the market share of the leading firm, equivalent to 1.14% to 114.35%, being the last predominant value in the trading account.

Keywords: vertical integration, two-sided market, market power.
JEL classification: L11; L13; L14.
MSC2010: 62P20; 91B24.

1. Introducción

El mercado de las tarjetas de crédito y débito en Chile ha mostrado un crecimiento importante en el último tiempo, especialmente en el número de tarjetas que se encuentran en poder del público como también en el número de las transacciones realizadas, las que han presentado un crecimiento de 173% para el periodo comprendido entre enero de 2013 a mayo de 2020 de acuerdo con información del regulador financiero. Esta situación se explica por varios cambios en el mercado, cambios que han contribuido a dicho resultado. Esto debido a que la industria de procesamiento de tarjetas está sufriendo una transformación, pues pasará a operar de un esquema de tres puntas a un esquema de cuatro puntas, situación en la que se mantiene la presencia de un actor que está integrado verticalmente.

En este contexto, el objetivo del presente trabajo es validar la existencia de poder de mercado ejercido por esta firma integrada verticalmente y ver los cambios en su posición en el mercado ante la potencial existencia de una franja de firmas que ingresan en el mercado de la afiliación de comercios, lo que presiona a un mayor nivel de competencia en ese segmento de la industria.

Para lograr lo anterior, se utiliza como modelo a seguir una estructura oligopólica donde hay una empresa líder y una franja de empresas que compiten con esta, es decir, el trabajo está basado en un juego a la Stackelberg, buscando una estimación econométrica de forma indirecta a través de la elasticidad de demanda residual.

Como resultado es que se obtiene para el periodo comprendido entre enero de 2013 a mayo de 2020, al utilizar un sistema de ecuaciones de oferta y demanda para los procesamientos de operaciones de transacciones mediante tarjetas de crédito y débito aplicado a este periodo de tiempo, mediante datos de panel. Como resultado se obtuvo un poder de mercado que evoluciona de forma directa con la cuota de mercado de la firma líder del mercado, siendo los niveles igual a 1,14% a 114,35%, siendo este último valor el que predomina en la práctica en dicho mercado.

Finalmente, el presente trabajo se divide en cuatro apartados, donde el primero de ellos se destina a realizar una breve descripción de la literatura sobre el modelo de oligopolio con una franja competitiva. Un segundo apartado muestra el desarrollo del modelo, donde a partir del desarrollo del modelo de Stackelberg, permite en un siguiente apartado determinar el modelo a estimar para esta estructura de mercado. Posteriormente, se lleva a cabo el análisis econométrico, estimando el modelo utilizando una metodología de regresiones con variables instrumentales y datos de panel, obteniendo indirectamente los parámetros que permiten determinar las elasticidades, lo que permite determinar la evolución del poder de mercado medido a través del índice de Lerner.

2. Revisión de la literatura

El poder de mercado es la capacidad que cuenta una o más firmas rivales para incrementar sus precios sobre los niveles competitivos, buscando de esta manera elevar sus beneficios (Motta, 2004). En general la presencia de poder de mercado impacta el bienestar y la asignación de los recursos, ya que, al ser ejercido por parte de una empresa, logra establecer precios sobre el costo marginal, lo que obliga a los consumidores a reducir la cantidad de bienes y servicios demandados o simplemente elevar el gasto realizado en ellos. Asimismo, las empresas que cuentan con esta capacidad pueden presentar menos incentivos para llevar a cabo desembolsos de recursos destinados a la innovación y desarrollo de nuevos bienes y servicios tal como lo plantea Schmalensee (1989), por lo que la eficiencia y la calidad de los procesos avanzan a un menor ritmo en comparación con una industria que presenten mayor competencia, lo que se traduce en una pérdida de eficiencia en la asignación de los recursos.

La teoría desarrollada en la organización industrial permite identificar el poder de mercado a través de la existencia, por largos periodos de tiempo, de esquemas de precios por encima de los niveles

determinados en los mercados que presentan una mayor intensidad de competencia, esto de acuerdo con Celani y Stanley (2005), reflejando entonces los costos de producción.

Los principales modelos desarrollados sobre este tópico buscan predecirlo a través de una relación inversa entre el precio del bien y la elasticidad de la demanda Pindyck (1985); esto se traduce que, en ausencia de poder de mercado y una vez controlados los factores que determinan los costos, no debe existir ninguna relación entre el precio y la elasticidad de la demanda.

Un problema existente en la línea mencionada es que la evidencia empírica sobre conductas de las firmas en los mercados muestra que los costos marginales pueden o no ser observables, lo que lleva a la literatura dividirse en dos corrientes. La primera, a partir del trabajo de Bain (1956), denominada enfoque de Estructura - Conducta - Desempeño (ECD), ha centrado su análisis del poder de mercado a partir de la relación entre las medidas de beneficios e indicadores de concentración en la industria. En un segundo lugar, y debido a la dificultad de observar directamente los costos marginales, emerge la Nueva Organización Industrial Empírica (NOIE), que se caracteriza por inferir la conducta de mercado a través de la respuesta que presentan los precios a cambios de las elasticidades de demanda y a las variaciones experimentadas por los costos. Adicionalmente existen otras investigaciones que consideran las propuestas teóricas de la Nueva Organización Industrial Empírica, en el marco de modelos oligopólicos, en los que el precio se encuentra determinado por una estructura competitiva y un monopolio, como es el trabajo de Bresnahan (1982), quien propone una estimación de un factor oligopólico que se incorpora en una función de demanda inversa, donde se concluye que este precio se encontrará acotado entre los precios competitivos y monopólicos.

En la misma dirección, Shapiro (1989) hace la medición del poder de mercado en una estructura de oligopolio, que se ha realizado mediante la evaluación de un comportamiento de las diferencias de precios a nivel de factores productivos y bienes finales. Sus resultados muestran una relación entre el poder de mercado y la relación entre el Índice de Herfindahl y la elasticidad precio de la demanda, que es ponderada por el número de empresas que participan en el mercado.

Existen otros trabajos como los de Driscoll, Kambhampaty y Purcell (1997) y Bhuyan y López (1997), donde la atención se centra en la elasticidad conjetural, que dimensiona la reacción que tienen las firmas que participan en el mercado frente a un movimiento realizado por la empresa líder.

Por otro lado, el modelo de firma dominante permite obtener importantes inferencias sobre como la integración vertical perjudica la estructura y el desempeño de la industria considerando a Riordan (1998), donde indica que la integración con el manufacturero de una firma dominante incrementa los precios y puede o no reducir el bienestar social dependiendo de las cuotas de mercado y de la existencia o no de barreras a la entrada y salida, como también del grado de integración vertical previa. Existen dos supuestos importantes en el modelo, (a) en los que existen limitaciones de recursos aguas arriba (barreras a la entrada) y (b) la firma dominante posee una tecnología superior al resto de los actores del mercado. Además, considerando el trabajo de Kahai, Kaserman y Mayo (1996), indican que el modelo de empresa dominante hace supuestos estratégicos particulares en los que las firmas marginales deben ser consideradas tomadoras de precios y la firma dominante presenta la ventaja de ser la principal firma en los mercados ascendentes y descendentes. De lo anterior, es interesante relajar el supuesto de tener ventaja para el primer jugador mientras se mantiene el supuesto de ser precio aceptante por parte de las empresas. Esto se puede lograr asumiendo que la firma dominante elige su capacidad de forma simultánea con la decisión de entrada marginal, asumiendo que las firmas marginales (precios aceptantes) tienen expectativas racionales sobre el precio de entrada de compensación del mercado. Asimismo, se asume una lógica secuencial de entrada, donde las firmas eligen las cantidades de forma simultánea en la etapa de producción siguiente.

Por otro lado, Ordover, Saloner y Salop (1990) bajo un modelo de integración vertical, asumen que la firma dominante debe tener un incentivo para adquirir capacidad para comprometerse a disminuir sus costos marginales, para cerrar la entrada de competidores a un determinado mercado. La integración vertical mejoraría este incentivo al reducir el estímulo de la firma dominante para actuar de forma

monopólica. Según este razonamiento, la integración vertical podría excluir a la franja competitiva compuesta por firmas pequeñas y generar de esta forma precios más altos considerando el trabajo de Salop y Scheffman (1983). Asimismo, la integración vertical por parte de la firma favorecida podría aumentar el costo de capacidad, provocando que las firmas rivales adquirieran menor capacidad.

El análisis de la interacción estratégica de las firmas es uno de los pilares de la organización industrial tradicional. Siguiendo el trabajo de Freixas y Rochet (2008), trabajo centrado en la industria financiera y en especial en lo relacionado a las transacciones, siendo el procesamiento de las transacciones mediante tarjetas de crédito y débito una de las particularidades del proceso, es que esto es muy similar al rol de un intermediario, pues sus análisis consideran estructuras de mercados a una competencia a la Bertrand o a la Cournot, o bien en contextos de un equilibrio general. Asimismo, y de forma teórica si se toma en consideración a Varian (2003), el análisis de liderazgo de una industria se encuentra inmerso dentro de los estudios que evalúan los efectos de la conducta estratégica de las empresas en mercados de tipo oligopólicos. De acuerdo con esto, usualmente las decisiones estratégicas se producen en precios y en cantidades en los mercados de productos. Los equilibrios asociados a cada tipo de liderazgo suelen ser diferentes y los contenidos económicos en que predominan uno u otro también suelen serlo. Así, el contexto del liderazgo en precios involucra señales de referencia, mientras que el liderazgo en cantidades involucra elecciones de capacidad.

Dentro de la literatura relacionada a la industria bancaria, destaca el modelo de Monti-Klein para una firma bancaria, ya que este modelo describe una firma bancaria que es un monopolio, que toma decisiones optimas en los mercado de insumos y de productos finales; por lo que el liderazgo en cantidades surge cuando se está en presencia de pocas firmas que enfrentan a una pequeña cantidad de consumidores, esto en presencia de asimetrías en los tiempos de decisión, y cuando existen productos homogéneos o diferenciados y con la presencia de barreras a entrada, esto de acuerdo a Baye (2003).

Sobre los estudios teóricos de liderazgo bancario como los de Toolsema y Schoonbeek (1999) y Dvorak (2005), muestran que la llamada “propiedad de independencia o separabiliy property”, propiedad que afirma que las decisiones optimas en los mercados de insumos y productos bancarios son independientes entre ellos, lo cual es limitada para estos autores. Finalmente, está el trabajo de Melnik, Shy y Stenbacka (2005), quienes desarrollan una medida de liderazgo en los mercados con propósitos de regulación bancaria. Cabe mencionar que ambos estudios están centrados en los mercados de préstamos bancarios y, por tanto, no analizan los mercados de insumos, como son por ejemplo los depósitos.

2.1. Literatura cuantitativa

Al hacer una revisión de la literatura cuantitativa destaca el trabajo de De Loecker y Eeckout (2017) que estima la rentabilidad de firmas del sector mayorista y minorista que operan en la bolsa en Estados Unidos. Sus resultados muestran un incremento en el margen de ganancia desde 21% a 61% entre los años 1980 al 2014, lo que se explica por un aumento del número de empresas con márgenes más altos. Adicionalmente, estos autores identifican un incremento en el poder de mercado en la industria

a causa de una disminución en la entrada de nuevas firmas debido a mayores barreras establecidas por firmas con poder de mercado. Lo que se provoca por el aumento en el número de fusiones y adquisiciones, las regulaciones que favorecen a las empresas ya instaladas, el crecimiento de los mercados en red, el aumento en las transacciones al por mayor, una mayor diferenciación de productos y una mayor integración vertical y financiera de las firmas con poder de mercado.

En la industria de las telecomunicaciones se encuentra el trabajo de Kahai, Kaserman y Mayo (1996), autores que estiman el grado de poder de mercado que presentaría AT&T en el mercado interestatal de telefonía de larga distancia en un periodo posterior al de la desinversión. El enfoque que utilizan los autores utiliza un modelo de una firma dominante con una franja de firmas competitivas, para imponer la estructura necesaria y que permite obtener estimaciones de los parámetros estructurales relevantes para utilizar estos parámetros en una estimación de la elasticidad de la demanda residual de

AT&T y el índice Lerner asociado. Sin embargo, debido a la continua presencia de la regulación y otras consideraciones, no es factible una estimación directa de la elasticidad de la demanda residual. En consecuencia, los autores adoptan un enfoque más indirecto que combina la estimación de la elasticidad de la oferta de la firma marginal, la estimación de la demanda del mercado y los datos de participaciones de mercado existentes para generar estimaciones de la elasticidad deseada. Las estimaciones resultantes respaldan firmemente la conclusión de que AT&T carece de un poder de mercado significativo en la marca de larga distancia en el periodo posterior a la desinversión.

En el trabajo de Uhl, Perekhozhuk y Glauben (2019), estiman que Rusia se comporta en las exportaciones de trigo de forma competitiva en sus envíos a Egipto, pero ejerce poder de mercado en Turquía con un margen estimado del 13.5%. Utilizando un conjunto de datos con información semanal sobre las exportaciones de trigo ruso, los autores utilizan el método de elasticidad de la demanda residual para analizar el comportamiento de los precios rusos en estos dos mercados de exportación más importantes (Egipto y Turquía).

El trabajo de Cakir y Balagatas (2012) utiliza un modelo econométrico estructural de relaciones verticales que permite identificar el comportamiento de los precios en la cadena de suministro de leche fluida en los Estados Unidos. Se construye a partir de un sistema de ecuaciones que permite estimar el poder oligopólico de las cooperativas lácteas y las firmas distribuidoras, explotando las regulaciones federales de órdenes de comercialización de leche para identificar el costo marginal de las cooperativas, encontrando que estas utilizan su poder de mercado para incrementar el precio de la leche en granja en casi un 9% sobre el costo marginal, lo que resulta en una transferencia de ingresos en mercados regulados por órdenes federales de comercialización de leche.

Para mercados financieros y de medios de pagos, destaca el trabajo de Coccorese, Girardona y Shaffer (2021), que estudian el poder de mercado en 13 sectores bancarios de la UE para los años 2007 a 2019 mediante la estimación de un modelo estructural con ecuaciones de demanda y oferta, donde el margen de beneficio del precio sobre el costo marginal se parametriza como una medida de la conducta de los bancos que depende de factores seleccionados. Los autores asumen que bancos de la UE disfrutan de un grado significativo de poder de mercado, lo que muestra una tendencia decreciente a lo largo del tiempo y algunas diferencias entre los países; pero mayor competencia se asocia con una mayor densidad bancaria, una menor capitalización bancaria, sistemas bancarios más eficientes y estables y mejores condiciones macroeconómicas. Asimismo, Fungacova, Solanko y Weill (2010) analizan la competencia bancaria en Rusia midiendo el poder de mercado de los bancos y sus determinantes durante el período 2001-2007 con el índice Lerner. En sus resultados, los autores concuerdan que la competencia bancaria sólo ha mejorado ligeramente durante el período estudiado. El índice Lerner medio es de la misma magnitud que los observados en los países desarrollados, lo que sugiere que la industria no está gozando de una competencia débil. Además, no encuentran un mayor poder de mercado para los bancos de propiedad estatal o extranjera.

Garber e Issao (2015) teniendo en cuenta la estructura monopolizada en la afiliación de comercios en Brasil, modificada luego de 2010, utilizan el costo marginal y la tarifa de intercambio para identificar el mercado y el costo marginal utilizando datos comerciales individuales. Con esa información evalúan el impacto del cambio del entorno en estos componentes de precios, encontrando una reducción considerable en el margen de beneficio como resultado del aumento de la competencia.

Finalmente, Ferrara (2016) ofrece una representación de un mercado compuesto por una plataforma dominante, lo que permite caracterizar un mercado donde una plataforma de ventas se encuentra integrada verticalmente compitiendo con el distribuidor con una firma que vende un subconjunto más pequeño de bienes. El propietario de la plataforma y la empresa distribuidora compiten a través del precio y el tiempo de entrega (variable proxi de la calidad). Como resultado, encuentra que en equilibrio la demanda del bien de la red competidora es más elástica que la demanda del propietario de la plataforma con respecto al tiempo de entrega y que los consumidores del competidor son más sensibles a los cambios en los tiempos de entrega que en el precio. Además, descubren que cuando la elasticidad de la demanda de la plataforma integrada verticalmente es lo suficientemente alta, entonces

podría disciplinar parcialmente el poder de mercado que el propietario de la plataforma puede ejercer contra su competidor en la distribución.

3. Modelo

El modelo de oligopolio de Stackelberg de 1934 está basado en la competencia vía cantidades, que tiene la característica de ser un juego en dos etapas en las que los conjuntos de las acciones desarrolladas por las firmas son continuos. Para este caso, los jugadores son dos firmas que conforman un duopolio que producen un bien homogéneo (que en este caso corresponden a la afiliación de comercios para el pago mediante tarjetas de crédito y débito) y cuya competencia es vía cantidades. En nuestro caso, se utilizará como variable proxi el número de transacciones que se realizan con tarjetas de pago y en el caso en que una de estas firmas, la líder, es la que decide su nivel de producción, en primer lugar, y la otra, la seguidora (puede ser más de una, como también una franja competitiva), deciden su nivel de producción luego de haber conocido y observado el nivel de producto de la firma líder.

Este modelo considera la existencia de dos firmas F_1 y F_2, firmas que producen un bien homogéneo y que enfrentan una demanda inversa decreciente y lineal en el intervalo $(0, a)$, asumiendo además que los costos marginales de las firmas que participan en el mercado son constantes (es decir, c) tal que c<a. Asimismo se asume que no existen costos fijos y que en dicho mercado se vende la totalidad de la producción realizada por las firmas (no existe capacidad ociosa)

Así el mercado es representado por una función de demanda inversa, $P = a - bQ$, donde Q corresponde a la suma de las cantidades producidas por ambas firmas que forman parte del mercado. Por otro lado, las firmas presentan las siguientes funciones de costo total $C_1(q_1) = cq_1$ y $C_2(q_2) = cq_2$.

A partir de lo anterior, se desprende que los niveles de utilidad se encuentran directamente relacionados con los niveles de beneficios, por lo que vienen representados de la siguiente forma:

$$\pi_1(q_1, q_2) = q_1(a - q_1 - q_2) - cq_1 = q_1(a - q_1 - q_2 - c)$$

$$\pi_2(q_1, q_2) = q_2(a - q_1 - q_2) - cq_2 = q_2(a - q_1 - q_2 - c)$$

Uno de los supuestos importantes del modelo es que estamos en presencia de un juego secuencial, en el sentido de que es la firma líder la primera que elige la cantidad a producir y con posterioridad la o las firmas seguidoras. Finalmente se obtiene una solución en cantidades de equilibrio para las firmas que forman parte del mercado. Es así como la firma 1 (F_1) elige una cantidad $q_1 > 0$. La firma 2 (F_2) observa q_1 y determina luego su cantidad a producir q_2.

La solución de este juego es por inducción hacia atrás, de modo que primero se determina la situación de óptimo de la firma 2 (F_2). Esto debido a que q_1 es fijo, luego F_2 responderá a la decisión de F_1, luego resolviendo el problema de maximización de beneficios de la firma 2 se tiene:

$$\max_{q_2} \pi_2(q_1, q_2) = q_2(a - q_1 - q_2) - cq_2 = q_2(a - q_1 - q_2 - c)$$

donde la CPO es:

$$\frac{\partial \pi_2}{\partial q_2} = a - c - q_1 - 2q_2 = 0$$

A partir de lo anterior, es posible deducir que la cantidad de equilibrio de la firma seguidora, teniendo en consideración la cantidad producida por la firma 1 es:

$$q_2 = \frac{a - q_1 - c}{2}$$

Por lo tanto, la función de reacción de la firma 2, viene dada por:

$$R_2(q_1) = \frac{a - q_1 - c}{2}$$

Así teniendo en consideración que la firma 2 responderá ante cualquier decisión de producción de la firma 1 con la cantidad indicada por la función de reacción de la firma 2. Considerando esto, la firma 1 tendrá la intención de actuar anticipándose a dicha respuesta, por lo que debe resolver el siguiente problema.

$$\max_{q_1} \pi_1(q_1, R_2(q_1)) = q_1(a - c - q_1 - R_2(q_1))$$

El desarrollo del problema de la firma líder, a partir de la CPO se obtiene:

$$\frac{\partial \pi_1}{\partial q_1} = a - c - 2q_1 - \frac{\partial R_2(q_1)}{\partial q_1} = 0$$

Luego al resolver este juego por inducción hacia atrás es que la firma 1 produce la cantidad $q_1 = \frac{a-c}{2}$, que corresponde a la cantidad de monopolio y, teniendo en consideración dicha cantidad, la firma seguidora produce $q_2 = \frac{a-c}{4}$.

La estimación del poder de mercado en el contexto de una firma dominante, de acuerdo con el modelo de Stackleberg, se realiza teniendo en consideración el valor recíproco de la elasticidad precio de la demanda residual que enfrenta la firma dominante, bajo diferentes cuotas de mercado. La forma de estimar la elasticidad de la demanda residual es de forma indirecta, de acuerdo con Carlton y Perloff (2000), de forma que aceptando que la firma dominante enfrenta y cubre gran parte de la demanda que no es cubierta por las firmas competidoras, permite definir la demanda residual como $q_r = D_t - O_t$, donde q_r es la demanda residual; D_t, la demanda total del mercado y O_t, la oferta de las firmas competidoras. Ahora, considerando la definición de la elasticidad precio de la demanda residual, como:

$$\varepsilon_{d_r} = \frac{\partial q_r}{\partial P}\frac{P}{q_r} < 0$$

Aplicando esta definición para el caso de la demanda residual se tiene:

$$\varepsilon_{d_r} = \frac{\partial D_t}{\partial P}\frac{P}{q_r} - \frac{\partial O_t}{\partial P}\frac{P}{q_r}$$

Al multiplicar por 1 todos los componentes de la expresión anterior, permite conformar las elasticidades, llegando a la siguiente expresión:

$$\varepsilon_{d_r} = \frac{\partial D_t}{\partial P}\frac{P}{q_r}\frac{D_t}{D_t} - \frac{\partial O_t}{\partial P}\frac{P}{q_r}\frac{O_t}{O_t} < 0$$

Como punto de partida de la expresión anterior, y considerando la definición de demanda residual, es posible obtener la participación de mercado de la firma líder o dominante en el mercado, es decir, $\alpha_i = \frac{q_t}{D_t}$, que puede tomar valores entre cero y uno.

$$1 = \frac{D_t}{q_t} - \frac{O_t}{q_t}$$

$$1 = \frac{1}{\alpha_i} - \frac{O_t}{q_t}$$

Por lo que es posible reescribir la expresión como:

$$\varepsilon_{d_r} = \left(\varepsilon_{d_p}^{M} \frac{1}{\alpha_i} - \varepsilon_{O_p}^{C} \frac{1 - \alpha_i}{\alpha_i} \right)$$

De esta forma, la elasticidad de la demanda residual queda en función de la elasticidad de la demanda del mercado; la elasticidad de la oferta precio del segmento competitivo del mercado y de la participación de mercado de la firma dominante o líder del mercado.

Al realizar la estimación del poder de mercado de la firma dominante a través del índice de Lerner, se está suponiendo de forma implícita que la firma se encuentra maximizando el beneficio con respecto al número de transacciones mediante tarjetas de crédito y débito realizadas.

El objetivo de la estimación de un modelo de dos partes (oferta y demanda) por transacciones realizadas mediante tarjetas de crédito y débito es obtener los coeficientes de la elasticidad precio de la oferta y la demanda, estimaciones que permiten finalmente obtener la elasticidad de la demanda residual, que corresponde al recíproco del poder de mercado de la firma, esto de acuerdo con su participación de mercado, que se muestra a continuación:

$$\varepsilon_{d_r} = \left(\varepsilon_{d_p}^{M} \frac{1}{\alpha_i} - \varepsilon_{O_p}^{C} \frac{1 - \alpha_i}{\alpha_i} \right)$$

De esta manera, el modelo de equilibrio parcial a estimar mediante regresiones a través de variables instrumentales, ya que el modelo asume endogeneidad en la determinación del precio y de la cantidad de equilibrio, e interacción entre los residuos. Como resultado, el modelo construido es el siguiente:

$$\ln P_t = \alpha_0 + \alpha_1 \ln Q_t + \alpha_2 \ln I_t + \alpha_3 tpm_t + dummy + u_t \quad \text{(función de demanda)}$$

$$\ln Q_t = \alpha_4 + \alpha_5 \ln P_t + \alpha_6 tpm_t + \alpha_7 \ln w_t + \mu_t \quad \text{(función de oferta)}$$

Además de la estimación mediante variables instrumentales, para confirmar las hipótesis planteadas se estimarán estas ecuaciones de oferta y demanda a través de datos de panel, donde *t* representan los periodos e *i* representa las tarjetas de crédito y débito respectivamente.

$$\ln P_{ti} = \alpha_0 + \alpha_1 \ln Q_{ti} + \alpha_2 \ln I_{ti} + \alpha_3 tpm_{ti} + dummy + u_{ti} \quad \text{(función de demanda)}$$

$$\ln Q_{ti} = \alpha_4 + \alpha_5 \ln P_{ti} + \alpha_6 tpm_{ti} + \alpha_7 \ln w_{ti} + \mu_{ti} \quad \text{(función de oferta)}$$

La función de demanda inversa por procesamiento de operaciones a través de tarjetas de pago establece que el precio, depende de la cantidad de operaciones procesadas por transacciones realizadas con tarjetas de crédito y débito, por lo que se espera que este signo sea negativo de acuerdo a la teoría, del nivel de ingreso, cuyo signo no se encuentra definido, y de la tasa de interés se espera que el signo sea negativo, pues claramente es posible considerar que el pago con tarjetas puede tener un sustituto que son otros medios de pago, como pueden ser los pagos en efectivo. Todas estas variables se expresan en logaritmos, salvo la tasa de interés, lo que permite obtener la elasticidad desde los estimadores y asegurar la estacionariedad de las series. Adicionalmente, en el caso de la demanda se considera una variable dummy, para los meses de enero y febrero, que busca internalizar una estacionalidad de la demanda en los meses de verano, debido a un menor nivel de transacciones realizadas a través de estos medios de pago.

En el caso de la oferta, la cantidad de operaciones procesadas por las transacciones realizadas mediante tarjetas de pago depende de las comisiones cobradas por la red esto por el procesamiento de cada una de estas operaciones, que en este caso se espera que el signo sea positivo, de acuerdo con la teoría, variable que no se encuentra expresada en logaritmos y, que representa el costo del capital, los salarios reales que en ambos casos se esperan signos positivos.

4. Datos

La definición de las variables observadas para el periodo comprendido entre enero de 2013 a mayo de 2020, con una frecuencia mensual, son:

- Py, comisión percibida por los bancos en las transacciones realizadas por tarjetas. La fuente de información es el regulador financiero. Esta variable es utilizada como proxy de los precios determinados por la red a los comercios que aceptan estos medios de pago.
- Q_t, número de operaciones totales realizadas mediante tarjetas de crédito y débito, datos obtenidos a partir de bases estadísticas del regulador financiero.
- w_t, índice de remuneraciones de la economía chilena, elaborado por el Instituto Nacional de Estadística.
- tpm_t, tasa de Política Monetaria determinada por el Banco Central.

Todas estas variables se encuentran expresadas en términos de logaritmos, salvo las tasas de interés.

Adicionalmente se incorpora el ingreso I_t, para lo que se utiliza como variable proxy el IMACEC, que corresponde al Indicador Mensual de la Actividad Económica obtenido desde el Banco Central de Chile.

Es necesario tener en consideración, que el hecho de utilizar una variable proxy para los precios y los ingresos, como también por la longitud de la serie, puede provocar ciertas limitaciones al modelo, como es el caso de las comisiones cobradas y del IMACEC respectivamente.

5. Discusión de los resultados

Las series consideradas en logaritmos no presentan raíz unitaria, tal como se muestra en la Tabla 1, salvo las variables de tasa de interés y salario, que presentan media y varianza que no es constante a través del tiempo.

El modelo estimado a través de variables instrumentales presentó características econométricas que permiten estimar con relativa certeza los coeficientes del modelo para el caso de las operaciones con tarjetas de débito, respecto de los que se estimó la elasticidad de demanda inversa. La función de oferta se estimó con la constante para poder identificarla correctamente y considerar el efecto de expansión de la oferta, cuya evidencia sería una relación positiva entre cantidad ofrecida y precio de mercado. Ello se explica, en parte, por la reducción de costos provenientes de la existencia de economías de escala en el procesamiento de operaciones mediante tarjetas. Los coeficientes estimados resultaron significativos todos al menos al 5% de significancia, considerando la distribución de t de Student. Es decir, esto permite rechazar la hipótesis nula que los coeficientes individualmente considerados son iguales a cero. El coeficiente de determinación corregido por grados de libertad resultó de 0.85, indicando que el modelo explica el más del 85% de la variabilidad en el procesamiento de operaciones a través de tarjetas de crédito y débito. Por otra parte, la prueba F para medir la significancia global del modelo de oferta, resultó significativo al 1% rechazando la hipótesis nula que los coeficientes en

conjunto son iguales a cero. El estadístico de Durbin - Watson fue de 1.34 evidenciando que no existe autocorrelación en el vector de errores.

Tabla 1. Resultado de la Prueba de Raíz Unitaria en las variables utilizadas en el modelo.

Variable	Estadístico Dickey-Fuller Aumentado (DFA)	Valor Crítico DFA al 1%	H0: Presencia de raíz unitaria
LnPt	-6.14	-4.066	Rechaza hipótesis al 1%
LnQt	-4.565	-4.066	Rechaza hipótesis al 1%
LnIt	-7.044	-4.066	Rechaza hipótesis al 1%
tpmt	-0.426	-4.066	Acepta hipótesis
Lnwt	-1.748	-4.066	Acepta hipótesis

Fuente: Elaboración propia.

Sobre la base de los resultados de la estimación, la elasticidad oferta-precio de procesamiento de transacciones realizadas mediante tarjetas de débito de corto plazo fue de 0.18, lo que sugiere que la industria posee capacidad instalada y tecnología para responder en forma significativa a los incentivos de precios, teniendo en consideración que esta industria presenta economías de escala, tal como lo demuestran Escobar y Valdés (2021).

En el caso de la función de demanda inversa, los coeficientes estimados resultaron significativos, de acuerdo con la distribución t de Student, al 5%, salvo en el caso de las variables Imacec y Tasa de Política Monetaria. El coeficiente de determinación ajustado, resulto ser de 0.67, con lo que se puede afirmar que el modelo de demanda inversa explica el 67% de la variabilidad de las comisiones cobradas por las transacciones a través de este medio de pago. La prueba F de significancia global del modelo, resultó significativo al 1%. El estadístico de Durbin - Watson fue de 1.54, evidenciando que no es posible concluir con la presencia de autocorrelación en el vector de errores.

La elasticidad demanda precio estimada es de -1.38 (recíproco de -0.72) y la elasticidad precio de las operaciones con tarjetas y la tasa de interés se estimó en -0.04 cuyo signo es consistente con la complementariedad de los medios de pago en las transacciones realizadas en los comercios, de acuerdo con los resultados que se muestran en la Tabla 2.

Para las estimaciones del modelo que considera el caso de las operaciones con tarjetas de crédito, ellas fueron estimados al igual que el modelo que representa a las operaciones con tarjetas de débito mediante variables instrumentales. Es así que los coeficientes estimados resultaron significativos todos al 5% de significancia, considerando la distribución de t de Student, salvo en el caso del salario. Esto permite rechazar la hipótesis nula que los coeficientes individualmente considerados son iguales a cero. El coeficiente de determinación corregido por grados de libertad resultó de 0.93, indicando que el modelo explica más del 93% de la variabilidad en el procesamiento de operaciones a través de tarjetas de crédito y débito. Por otra parte, la prueba F para medir la significancia global del modelo de oferta, resultó significativo al 1% rechazando la hipótesis nula que los coeficientes en conjunto son iguales a cero. El estadístico de Durbin - Watson fue de 0.95 evidenciando que no existe autocorrelación en el vector de errores.

Sobre la base de los resultados de la estimación del modelo, la elasticidad oferta-precio de procesamiento de transacciones realizadas mediante tarjetas de crédito de corto plazo fue de 0.07, mismo resultado obtenido para el caso de las tarjetas de débito.

Tabla 2. Estimación del modelo de oferta y demanda por operaciones de débito por variables instrumentales.

	Wald chi2(3)	R-squared	Root MSE	n
	185.64	0.6706	0.41389	89
Ecuación	**Coeficiente**	**Std. Err.**	**t - Statistic**	**P**
lpd				
lqd	-0.724359	0.3442848	-2.10	0.035
limancec	-0.083925	1.3660470	-0.06	0.951
tpm	-0.046394	0.0832644	-0.56	0.577
DUMMY	-1.482558	0.1392104	-10.65	0.000
Constante	17.592020	4.4466980	3.96	0.000

	Wald chi2(3)	R-squared	Root MSE	n
	567.49	0.848	0.13126	89
Ecuación	**Coeficiente**	**Std. Err.**	**t - Statistic**	**P**
lqd				
lpd	0.181530	0.0544017	3.34	0.001
tpm	0.137308	0.0329023	4.17	0.000
lnw	4.433072	0.3363978	13.18	0.000
Constante	-3.149141	1.7640350	-1.79	0.074

Fuente: Elaboración propia.

En el caso de la función de demanda inversa, los coeficientes estimados resultaron significativos, de acuerdo con la distribución t de Student, al 5%, salvo en el caso de las variables Imacec y Tasa de Política Monetaria. El coeficiente de determinación ajustado es de 0.71, con lo que se puede afirmar que el modelo de demanda inversa explica el 71% de la variabilidad de las comisiones cobradas por las transacciones a través de este medio de pago. La prueba F de significancia global del modelo, resultó significativo al 1%. El estadístico de Durbin - Watson fue de 1.11, evidenciando que no es posible concluir con la presencia de autocorrelación en el vector de errores.

La elasticidad demanda precio a este nivel resultó ser de -0.69 (recíproco de -1.44) y la elasticidad precio de las operaciones con tarjetas de crédito y la tasa de interés, se estimó en -0.012 cuyo signo fue consistente con el hecho de tratarse de bienes que son considerados complementarios como medios de pago en las transacciones realizadas en los comercios, en relación con otros medios de pago, de acuerdo con los resultados que se muestran en la Tabla 3.

Para las estimaciones mediante datos del panel, el resultado del modelo que representa a la oferta muestra, que los coeficientes estimados resultaron significativos todos al menos al 1% de significancia, considerando la distribución de t de Student, salvo en el caso del salario, lo que permite rechazar la hipótesis nula que los coeficientes individualmente considerados son iguales a cero. El coeficiente de determinación corregido por grados de libertad resultó de 0.85, indicando que el modelo explica el 85% de la variabilidad en el procesamiento de operaciones a través de tarjetas de pago.

Sobre la base de los resultados de la estimación, la elasticidad oferta-precio de procesamiento de transacciones realizadas mediante tarjetas de crédito de corto plazo fue de 0.13, resultado similar al obtenido en las estimaciones a través de variables instrumentales.

Tabla 3. Estimación del modelo de oferta y demanda por operaciones de crédito por variables instrumentales.

	Wald chi2(3)	R-squared	Root MSE	n
	218.19	0.7106	0.49743	89
Ecuación	**Coeficiente**	**Std. Err.**	**t - Statistic**	**P**
lpc				
lqc	-1.444808	0.2756111	-5.24	0.000
limancec	1.861118	1.5025130	1.24	0.215
tpm	-0.121622	0.1002573	-1.21	0.225
DUMMY	-1.446076	0.1657465	-8.72	0.000
Constante	21.903720	4.9818230	4.40	0.000

	Wald chi2(3)	R-squared	Root MSE	n
	1238.08	0.9315	0.12471	89
Ecuación	**Coeficiente**	**Std. Err.**	**t - Statistic**	**P**
lqc				
lpc	0.072663	0.0404434	1.80	0.072
tpm	0.138746	0.0315544	4.40	0.000
lnw	5.710882	0.3821130	14.95	0.000
Constante	-10.096850	2.0097560	-5.02	0.000

Fuente: Elaboración propia.

En el caso de la función de demanda inversa, los coeficientes estimados resultaron significativos, de acuerdo con la distribución t de Student, al 5%, salvo en el caso de las variables Imacec y Tasa de Política Monetaria. El coeficiente de determinación ajustado es de 0.68; como resultado se puede afirmar que el modelo de demanda inversa explica el 68% de la variabilidad de las comisiones cobradas por las transacciones a través de estos medios de pago.

La elasticidad precio de la demanda resulto ser de -0.87 (recíproco de -1.14)) y la elasticidad precio de las operaciones con tarjetas de crédito y la tasa de interés se estimó en -0.012, signo consistente con la teoría al tratarse de bienes que son considerados complementarios como medios de pago en las transacciones realizadas en los comercios, esto en relación con otros medios de pago, esto de acuerdo con los resultados que se muestran en la Tabla 4.

Tabla 4. Estimación del modelo de oferta y demanda por operaciones por Datos de Panel.

Ecuación	Coeficiente	Std. Err.	t - Statistic	P
lnp				
lnq	-1.143479	0.2231262	-5.12	0.000
lingreso	0.939763	1.0485720	0.90	0.370
tpm	-0.080733	0.0674820	-1.20	0.232
dummy	-1.465352	0.1119125	-13.09	0.000
constante	20.776520	3.4977230	5.94	0.000
sigma_u	1.254970			
sigma_e	0.474279			
rho	0.875026			
R-sq: within	0.683900		**n**	178
between	1.000000		**Grupos**	2
overall	0.845800		**Obs por grupo**	89
			Wald chi2(4)	364.030000
corr(u_i, X)	0.000000		**Prob > chi2**	0.000000

Ecuación	Coeficiente	Std. Err.	t - Statistic	P
lnq				
lnp	0.135801	0.0428059	3.17	0.002
lnw	5.208791	0.3290221	15.83	0.000
interes	0.142874	0.0290747	4.91	0.000
constante	-7.356208	1.8496560	-3.98	0.000
sigma_u	0.914428			
sigma_e	0.162310			
rho	0.969456			
R-sq: within	0.854100		**n**	178
between	1.000000		**Grupos**	2
overall	0.056800		**Obs por grupo**	89
			Wald chi2(3)	1068.890000
corr(u_i, X)	0.000000		**Prob > chi2**	0.000000

Fuente: Elaboración propia.

A partir de los coeficientes de las elasticidades precio de la demanda y oferta tanto por variables instrumentales como también por datos de panel, se procede a realizar las simulaciones del poder de mercado para los diferentes niveles de participación de mercado, considerando la firma que presenta poder de mercado, como es posible observar en los siguientes cuadros. De esto, se desprende que a medida que la participación de mercado de la oferta de una firma individual en el mercado se incrementa, la elasticidad de la demanda ponderada se mueve en un rango de -156.02 a -1.38 para las tarjetas de débito, y de -76.41 a -0.69 para las tarjetas de crédito, valores que en cierta medida dan los

límites a los resultados obtenidos al momento de estimar el modelo mediante datos de panel, pues resultados de la elasticidad ponderada de la demanda varían entre -100.9 a -0.87. Este último valor corresponde a la elasticidad de la demanda total (demanda inversa) que enfrenta una firma monopólica, ya que tiene la totalidad del mercado, situación que es el reflejo cercano al mercado nacional.

Tabla 5. Estimación del poder de mercado en un mercado con una firma dominante tarjetas de débito.

Participación de Mercado	Elasticidad precio de la demanda de mercado ponderada	Elasticidad precio de la oferta ponderada	Elasticidad demanda residual	Índice de Lerner
1%	-156.02	-17.97	-138.05	0.72%
10%	-15.44	-1.63	-13.81	7.24%
20%	-7.63	-0.73	-6.90	14.49%
30%	-5.03	-0.42	-4.60	21.73%
40%	-3.72	-0.27	-3.45	28.97%
50%	-2.94	-0.18	-2.76	36.22%
60%	-2.42	-0.12	-2.30	43.46%
70%	-2.05	-0.08	-1.97	50.71%
80%	-1.77	-0.05	-1.73	57.95%
90%	-1.55	-0.02	-1.53	65.19%
100%	-1.38	0.00	-1.38	72.44%

Fuente: Elaboración propia.

Tabla 6. Estimación del poder de mercado en un mercado con una firma dominante tarjetas de crédito.

Participación de Mercado	Elasticidad precio de la demanda de mercado ponderada	Elasticidad precio de la oferta ponderada	Elasticidad demanda residual	Índice de Lerner
1%	-76.41	-7.19	-69.21	1.44%
10%	-7.58	-0.65	-6.92	14.45%
20%	-3.75	-0.29	-3.46	28.90%
30%	-2.48	-0.17	-2.31	43.34%
40%	-1.84	-0.11	-1.73	57.79%
50%	-1.46	-0.07	-1.38	72.24%
60%	-1.20	-0.05	-1.15	86.69%
70%	-1.02	-0.03	-0.99	101.14%
80%	-0.88	-0.02	-0.87	115.58%
90%	-0.78	-0.01	-0.77	130.03%
100%	-0.69	0.00	-0.69	144.48%

Fuente: Elaboración propia.

Tabla 7. Estimación del poder de mercado en un mercado con una firma dominante Datos de Panel.

Participación de Mercado	Elasticidad precio de la demanda de mercado ponderada	Elasticidad precio de la oferta ponderada	Elasticidad demanda residual	Índice de Lerner
1%	-100.90	-13.44	-87.45	1.14%
10%	-9.97	-1.22	-8.75	11.43%
20%	-4.92	-0.54	-4.37	22.87%
30%	-3.23	-0.32	-2.92	34.30%
40%	-2.39	-0.20	-2.19	45.74%
50%	-1.88	-0.14	-1.75	57.17%
60%	-1.55	-0.09	-1.46	68.61%
70%	-1.31	-0.06	-1.25	80.04%
80%	-1.13	-0.03	-1.09	91.48%
90%	-0.99	-0.02	-0.97	102.91%
100%	-0.87	0.00	-0.87	114.35%

Fuente: Elaboración propia.

La elasticidad de la oferta ponderada permite mostrar el reflejo de la capacidad de respuesta del segmento competitivo frente a variaciones en las comisiones aplicadas a cada una de las transacciones mediante tarjetas de pago. Como resultado, es posible afirmar que a medida que se observa una disminución de la cuota de mercado de la firma dominante, se incrementa la capacidad de reacción del segmento competitivo. Este resultado, claramente está relacionado con las limitaciones crecientes en el tamaño de planta o nivel de operación de las firmas competitivas, como respuestas a las variaciones en los precios. Esto va en línea a los resultados obtenidos por Garber e Issao (2015), quienes encuentran una disminución en los márgenes de las firmas adquirientes de comercios en el mercado de tarjetas de crédito en Brasil, a partir de los cambios en la estructura del mercado a partir del año 2010.

En el caso de la demanda residual, esta es decreciente en la medida que una empresa observa un incremento en la participación de mercado y, por lo tanto, llega a ser igual a la elasticidad precio de la demanda total cuando la firma es la única que produce el servicio en el mercado, situación que sería el reflejo de lo que sucede en el mercado actualmente.

De acuerdo con la situación actual del mercado, donde la firma Transbank es casi un monopolio integrado verticalmente, concentra casi la totalidad de las transacciones realizadas, por lo que es factible asignarle el 100% del mercado para el año 2019. Considerando estas cifras y los resultados obtenidos a partir de las estimaciones, el ejercicio del poder de mercado se pudo haber situado en un 53.12% para dicho año, y dada la estructura del mercado en Chile es acorde con la literatura, tal como lo plantea Coccorese, Girardone y Shaffer (2021), quienes encuentran que la competencia en la industria lleva a una reducción en el poder de mercado medido a través del índice de Lerner. Asimismo, Cakir y Balagatas (2012), estudiando la existencia de poder de mercado en una industria con relaciones verticales, encuentran que las empresas logran incrementar el precio las firmas manufactureras hasta un 9% sobre el costo marginal.

En el caso del índice de Lerner, a partir de las simulaciones realizadas desde las estimaciones del modelo, el poder de mercado se mueve en el rango entre 0.72% para el caso que simula competencia perfecta y un 72.44% para un escenario de monopolio en el caso de las tarjetas de débito. Para el caso de las tarjetas de crédito este valor se encuentra entre 1.44% y 144.48%, y de un rango de 1.14% a 114.35% para el modelo estimado mediante datos de panel. La justificación para permitir la existencia

de una firma dominante en un determinado mercado es que ésta es capaz de organizar y asignar sus recursos con una determinada tecnología que le permita obtener menores costos de producción, similar a lo planteado por Fungacova et al. (2010), quienes analizan la competencia bancaria en Rusia para el periodo comprendido para el periodo 2001 a 2007 y encuentran como resultado un valor similar a aquel de los países desarrollados lo que se explica por el hecho de que los niveles de concentración afectan a este valor y, de este modo, impactan la competencia.

El argumento principal para la existencia de una empresa dominante se relaciona con el hecho de que esta organiza y asigna sus recursos con una tecnología y posición de mercado dada por la integración vertical, lo que le permite obtener menores costos de producción. En Chile, la firma dominante lo es en el procesamiento de las operaciones con tarjetas de crédito y débito, como también en la afiliación de comercios. Como resultado, controla dos segmentos importantes del mercado, lo que facilita el ejercicio de su posición de mercado. Para Ferrara (2016), que supone un mercado donde existe una plataforma integrada verticalmente que compite en la distribución con una firma que vende un subconjunto más pequeño de bienes, encuentra que en el caso que la elasticidad de la demanda que enfrenta la firma integrada verticalmente es lo suficientemente alta, puede disciplinar el poder de mercado que el propietario de la plataforma ejerce contra el competidor en el segmento distribuidor.

6. Conclusiones

La oferta de procesamiento de transacciones realizadas mediante tarjetas de crédito y débito presenta una tendencia creciente, para el periodo analizado, situación que no se ve reflejado en una disminución de las tarifas determinadas a los comercios.

El poder de mercado de una firma dominante en el mercado del procesamiento de operaciones realizadas mediante tarjetas de crédito y débito, esto considerando una estructura de mercado que compite a la Stackelberg y endogeneidad en la determinación del precio y de la cantidad de equilibrio, va desde 0.5% a 53.1%, en función de la participación de la oferta de la empresa en la oferta total.

De las simulaciones realizadas, a partir del modelo, en el caso del índice de Lerner, el poder de mercado varía en un rango entre 0.72% para el caso que simula competencia perfecta y un 72.44% para un escenario de monopolio en el caso de las tarjetas de débito. Para el caso de las tarjetas de crédito este valor se encuentra entre 1.44% y 144.48%, y de un rango de 1.14% a 114.35% para el modelo estimado mediante datos de panel, valores consistentes con las estimaciones realizadas a través de variables instrumentales para el caso de las tarjetas de crédito y débito.

Dado que el índice de concentración estimado en el trabajo, para el caso de los procesamientos de operaciones realizadas mediante tarjetas de pago en Chile es de un 100% para el periodo de tiempo analizado, es posible inferir que el poder de monopolio de la firma dominante se encuentra en un 53.1% medido a través del Índice de Lerner.

Finalmente, los cambios que se observan en la industria, ciertamente buscan entregar mayores niveles de competencia en lo que es la afiliación de los comercios, situación que claramente se verá reflejado en una reducción del poder de mercado de la red establecida en el mercado con una disminución en el índice de Lerner.

Referencias

Bain, J. (2013). *Barriers to new competition: Their character and consequences in manufacturing industries*. Cambridge: Harvard University Press.

Baye, M. (2010). *Basic oligopoly. Managerial economics and business strategy* (pp. 313- 338). Seventh Edition. Nueva York: McGraw-Hill.

Bhuyan, S., & López, R. (1997). Oligopoly power in the food and tobacco industries. *American Journal of Agricultural Economics, 79*(3), 1035-1043. https://doi.org/10.2307/1244442

Bresnahan, T. (1982). The oligopoly solution concept is identified. *Economics Letter, 10*(1-2), 87-91.

Cakir, M., & Balagatas, J. (2012). Estimating market power of U.S. dairy cooperatives in the fluid milk market. *American Journal of Agricultural Economics, 94*(3), 647-658.

Carlton, D., & Perloff, J. (1999). *Noncoperative oligopoly. Modern industrial organization* (pp. 153 - 193). Third Edition. Massachusetts: Addison Wesley Longman Inc.

Celani, M., & Stanley, L. (2005). Defensa de la competencia en Latinoamérica: aplicación sobre conductas y estrategias. *Serie estudios y perspectivas, 28*. CEPAL: Buenos Aires.

Coccorese, P., Girardone, C., & Shaffer, S. (2021). *What affects bank market power in the Euro area? A structural model approach*. Centre for Applied Macroeconomic Analysis, Crawford School of Public Policy, The Australian National University. Working Papers N°15.

De Loecker, J., & Eeckout, J. (2017). *The rise of market power and the macroeconomic implications*. National Bureau of Economic Research. Working Paper 23687.

Driscoll, P., Kambhampaty, M., & Purcell, W. (1997). Nonparametric tests of profit maximization in oligopoly with application to the beef packing industry. *American Journal of Agricultural Economics, 79*(3), 872-879.

Dvorak, P. (2005). *Rethinking the Monti - Klein model of banking industry: New insights about the separability of loans and deposits decisions*. Charles University - Center for Economics Research and Graduate Education, CERGE - EI. Praga. Discussion Paper N°138.

Escobar, G., & Valdés, I. (2021). Economies of scale in the payment card market in Chile. *International Journal of Economics and Business Administration, 9*(2), 67-81. https://doi.org/10.35808/ijeba/689

Ferrara, E. (2016). Monopoly power in platform dominated Mmarkets. *Studi Economici, 118-119-120*, 69-87.

Freixas, X., & Rochet, J. (2008). *The industrial organization approach to banking. Microeconomics of banking*. Second edition. Cambridge: The MIT Press.

Fungacova, Z., Solanko, L., & Weill, L. (2010). *Market power in the Russian banking industry*. Bank of Finland, Institute for Economies in Transition. Discussion Papers N°3.

Garber, G., & Issao, M. (2015). *The break of brand exclusivity in Brazilian credit card acquiring: effects and markup-cost decomposition in a price dispersion setting*. Department of Economics, University of São Paulo (FEA-USP). Working Papers N° 16.

Kahai, S.K., Kaserman, D.L., & Mayo, J.W. (1996). Is the "dominant firm" dominant? An empirical analysis of AT&T's market power. *The Journal of Law & Economics, 39*(2), 499-517. www.jstor.org/stable/725714.

Melnik, A., Shy, O. & Stenbacka, R. (2005). *Relative market share, leadership, and competition in concentrated banking markets*. Turin, International Centre for Economics Research, ICER Working Paper N°14.

Motta, M. (2004). *Market definition and the assessment of market power. Competition policy: theory and practice*. First Edition. Cambridge: Cambridge University Press.

Ordover, J., Saloner, G., & Salop, S. (1990). Equilibrium vertical foreclosure. *The American Economic Review, 80*(1), 127-142. www.jstor.org/stable/2006738.

Pindyck, R. (1985). The measurement of monopoly power in dynamics markets. *The Journal of Law & Economics, 28*(1), 193-222.

Riordan, M. (1998). Anticompetitive vertical integration by a dominant firm. *The American Economic Review, 88*(5), 1232-1248. www.jstor.org/stable/116868.

Salop, S., & Scheffman, D. (1983). Raising rivals' costs. *The American Economic Review, 73*(2), 267-271. www.jstor.org/stable/1816853.

Shapiro, C. (1989). Theories of oligopoly behavior. In Schmalensee, R. & Willig, R. (Eds.) *Handbook of Industrial Organization* (pp. 330-410). Volume 1. Amsterdam: Elsevier.

Schmalensee, R. (1989). Inter-industry studies of structure and performance. In Schmalensee, R. & Willig, R. (Eds.) *Handbook of Industrial Organization* (pp. 951-1009). Volume 2. Amsterdam: Elsevier.

Toolsema, L., & Schoonbeek, L. (1999). *Bank behavior and the interbank rate in an oligopolistic market*. Groningen, University of Groningen - CCSO Centre for Economics Research. Working Paper 199909.

Uhl, K.M., Perekhozhuk, O. & Glauben, T. (2019). Russian market power in international wheat exports: evidence from a residual demand elasticity analysis. *Journal of Agricultural & Food Industrial Organization, 17*(2), 1-13. https://doi.org/10.1515/jafio-2016-0026

Varian, H. (2003). *Oligopoly. Intermediate microeconomics. A modern approach* (pp. 285 - 310). Sixth Edition. Nueva York: W.W. Norton & Company.

REVISTA DE MÉTODOS CUANTITATIVOS PARA LA ECONOMÍA Y LA EMPRESA (33). Páginas 93-115.
Junio de 2022. ISSN: 1886-516X. D.L: SE-2927-06.
www.upo.es/revistas/index.php/RevMetCuant/article/view/5581

Importancia y efecto de los factores financieros y asociados a la financiación en la intensidad de la innovación de las pymes colombianas

PADILLA-OSPINA, ANA MILENA
Universidad del Valle (Colombia)
Correo electrónico: ana.milena.padilla@correounivalle.edu.co

MEDINA-VÁSQUEZ, JAVIER ENRIQUE
Universidad del Valle (Colombia)
Correo electrónico: javier.medina@correounivalle.edu.co

OSPINA-HOLGUÍN, JAVIER HUMBERTO
Universidad del Valle (Colombia)
Correo electrónico: javier.ospina@correounivalle.edu.co

RESUMEN

La financiación de la innovación se ha caracterizado por ser un campo fragmentado donde coexisten múltiples teorías, cada una enfocada en uno o en unos pocos aspectos de la financiación a la vez. El presente artículo busca identificar las variables financieras que más influyen y su efecto en la intensificación de las actividades de innovación de las pymes colombianas en un único modelo empírico comprehensivo que predice la intensidad de la innovación a partir de más de cuarenta subvariables asociadas a la financiación de la innovación. El modelo de predicción (que logró un coeficiente de determinación por fuera de la muestra sobre 0.5 o 0.6), según la definición utilizada, se basa en un conjunto de redes neuronales optimizadas mediante técnicas bayesianas. Los resultados de este trabajo sugieren como conclusión que para que las pymes decidan intensificar sus actividades de innovación predominan las variables capaces de limitar la innovación, como el costo de ajuste y algunos obstáculos para innovar, pero sobre todo las variables centradas en el riesgo, como el riesgo de quiebra de la empresa o del proyecto de innovación y la aversión al riesgo del gerente.

Palabras clave: financiación de la innovación, intensidad de la innovación, redes neuronales, pymes.
Clasificación JEL: O31; G32; L60; L80.
MSC2010: 68T07.
Artículo recibido el 21 de julio de 2021 y aceptado el 12 de agosto de 2021.

Importance and effect of financial and financing-related factors on the innovation intensity of Colombian SMEs

ABSTRACT

Innovation financing has been characterized as a fragmented field where multiple theories coexist, each focusing on one or a few aspects of financing at the same time. This article aims to identify the most influential financial variables and their effect on the intensification of innovation activities of Colombian SMEs, in a single comprehensive empirical model that predicts the intensity of innovation from more than forty subvariables associated with the financing of innovation. The prediction model (which achieved an out-of-sample determination coefficient of 0.5 or 0.6), according to the definition used, is based on a set of neural networks optimized using Bayesian techniques. The results of this work suggest, as a conclusion, that for SMEs to decide to intensify their innovation activities, variables capable of limiting innovation predominate, such as the adjustment costs and some obstacles to innovating, but especially variables focused on risk, such as the risk of bankruptcy of the company or of the innovation project and the risk aversion of the CEO.

Keywords: financing of innovation, intensity of innovation, neural networks, SMEs.
JEL classification: O31; G32; L60; L80.
MSC2010: 68T07.

1. Introducción

El campo de la financiación de la innovación ha estudiado aisladamente o en pequeños grupos aspectos específicos de la financiación que influyen sobre el desarrollo de actividades de innovación en las empresas; aspectos tales como la estructura de capital (Chen, Hsu, & Huang, 2010; O'Brien, 2003; Serrasqueiro, Nunes, & da Rocha Armada, 2016), los obstáculos financieros a la innovación (Czarnitzki, 2006; Czarnitzki, Hottenrott, & Thorwarth, 2011; Mohnen, Palm, van der Loeff, & Tiwari, 2008) o el uso de las fuentes de financiación para la innovación (Beaudry & Allaoui, 2012; Brancati, 2015; Brown, Fazzari, & Petersen, 2009; Mancusi & Vezzulli, 2014). Múltiples modelos teóricos, incluso contradictorios entre sí, han sido utilizados para describir el campo (Padilla-Ospina, Medina-Vásquez, & Rivera-Godoy, 2018).

Incluso si se considera toda la economía de la innovación como campo abarcador, este se caracteriza por una fragmentación teórica y metodológica, con enfoques tan diferentes como los de la macroeconomía, la organización industrial, las finanzas públicas y el desarrollo económico (Hall & Rosenberg, 2010, p. 3-5)**.** Esta fragmentación ha impedido que se pueda tener un panorama global del impacto sobre la intensidad de la innovación de las diferentes variables asociadas a la financiación en un solo modelo empírico.

Existe así un vacío en la literatura empírica, dado que no se ha planteado previamente un único modelo comprehensivo de la importancia relativa de las variables financieras para intensificar las actividades de innovación en el que se identifique qué efecto tiene cada una de estas variables financieras. Si bien Padilla-Ospina, Medina-Vásquez y Ospina-Holguín (2021) ofrecieron un modelo para la presencia o ausencia de la innovación, el modelo que se presenta en este artículo predice directamente la intensidad de la innovación e incluye las veintidós subvariables financieras independientes y las seis subvariables de control de Padilla-Ospina et al. (2021), además de dieciséis nuevas subvariables financieras independientes.

El presente trabajo desarrolla primero un modelo comprehensivo no necesariamente lineal para predecir la intensidad de la innovación a partir de los factores asociados a la financiación de la innovación. La variable que describe la intensidad de la innovación incluye tanto a las entradas como a las salidas de la innovación. Los factores asociados a la financiación de la innovación comprenden casi veinte variables generales, que cubren desde las características para acceder al crédito, las características del crédito, las fuentes de financiación a corto y largo plazo, las preferencias por las fuentes de financiación y la dificultad de obtener financiación a partir de estas fuentes, el riesgo moral y los costos de agencia, la aversión al riesgo del gerente, los costos de ajuste, de quiebra y de capital, y variables financieras asociadas específicamente a los proyectos de innovación.

El modelo predictivo se basa en un conjunto de dieciséis redes neuronales optimizadas cada una mediante optimización bayesiana. El modelo se construyó en una muestra estratificada por ciudad, tamaño, sector y presencia de la innovación de 157 pymes colombianas y se validó en una segunda muestra de prueba, obtenida por conveniencia, de 82 pymes. En los datos de validación, el modelo logra un coeficiente de determinación R^2 fuera de la muestra por encima de 0.5 o 0.6, según la definición utilizada del coeficiente. Posteriormente, como resultado del conjunto de modelos, se pudo calcular una jerarquía de las variables que más importancia tienen para predecir la intensidad de la innovación, así como los efectos, no necesariamente lineales, que tiene cada variable sobre la intensidad de la innovación.

Los resultados sugieren que las variables del costo de ajuste para modificar la producción, el tamaño por número de empleados (una variable de control), la aversión al riesgo del gerente, y los costos esperados de quiebra tanto generales, como asociados a la innovación, son los factores que más influyen en que las pymes colombianas intensifiquen su desarrollo de actividades de innovación. Le siguen las características del crédito, un grupo de obstáculos para innovar y las fuentes de financiación de corto plazo.

Entre estas variables principales, cuatro variables, los costos de ajuste y el costo esperado de quiebra por innovación, el tamaño por empleados y la aversión al riesgo del gerente, tienen un efecto negativo en la intensificación de la innovación; mientras que tres variables, el costo esperado de quiebra general, las características del crédito y la fuente de financiación en el corto plazo, tienen un efecto positivo.

Este artículo se encuentra organizado de la siguiente manera. En primer lugar, se realiza una revisión de la literatura; después, se expone brevemente la metodología utilizada para la realización de la investigación; más adelante, se presentan los resultados y su discusión; y en las últimas dos secciones se presentan las conclusiones y los detalles del apéndice en línea.

2. Marco teórico

En el campo de la financiación de la innovación confluyen diversas teorías: por ejemplo, la teoría del costo de la agencia (Jensen & Meckling, 1976), la teoría del riesgo moral (Holmstrom, 1989), el concepto del costo del capital (Lintner, 1965; Mossin, 1966; Ross, 1976; Sharpe, 1964; Treynor, 1961) y diferentes modelos de estructura de capital (Berger & Udell, 1998; Modigliani & Miller, 1958; Myers, 1984) han sido utilizados para describir distintos aspectos parciales del mismo fenómeno de la financiación de la innovación.

A veces, tales modelos se contradicen entre sí, como en el caso de las distintas teorías de la estructura de capital. Debido a que no hay una teoría unificada sobre la financiación de la innovación y a que los estudios existentes se enfocan en una o en un par de variables financieras bajo las teorías antes descritas, no existen estudios directamente comparables frente a la propuesta que se plantea en esta investigación.

El trabajo más similar es el de Padilla-Ospina et al. (2021), quienes se enfocan en modelar la presencia o ausencia de innovación, en lugar de la intensidad de la innovación. Sin embargo, existe evidencia empírica previa sobre una buena parte de las variables que se utilizaron en el modelo de predicción que aquí se plantea. A continuación, se presentan resultados sobre algunas de las principales variables tratadas en este estudio.

Una de las variables que más se ha estudiado en el campo de la financiación de la innovación es el uso de las fuentes de financiación para la innovación. Esta variable se relaciona con el tema de la estructura de capital. Algunos estudios encuentran que las empresas innovadoras utilizan deuda externa (Hahn, Minola, Vismara, & De Stasio, 2019; Hottenrott & Richstein, 2020; Howell, 2017; Wang, Li & Furman, 2017), otros estudios consideran que las empresas innovadoras prefieren utilizar fondos internos para financiar sus actividades (Barona-Zuluaga & Rivera-Godoy, 2017; Brown, Martinsson, & Petersen, 2012), y otros, a su vez, sugieren que las empresas innovadoras se deberían financiar con la emisión de acciones (Brown et al., 2009; Guariglia & Liu, 2014).

Los obstáculos para el desarrollo de actividades de innovación conforman otro factor ampliamente estudiado. Algunos estudios coinciden en que los obstáculos que más se presentan para el desarrollo de actividades de innovación son los altos costos del acceso a la financiación y de innovar, la falta de asociacionismo empresarial, la introducción de nuevas tecnologías por parte de la competencia, la carencia de pensamiento estratégico por parte del gerente, la falta de ayuda por parte del gobierno y la rigidez organizacional (García-Quevedo, Segarra-Blasco, & Teruel, 2018; Merz, 2019; Nor, Bhuiyan, Said & Alam, 2016; Zhang & Zheng, 2020).

El costo de ajuste, por su lado, también ha sido estudiado. El costo de ajuste mide los costos de modificar aquellas variables que controla la empresa durante su producción (Farlex Financial Dictionary, 2012). El estudio de Xu (2020) sugiere que los costos de ajuste son mayores en las empresas innovadoras. Contratar nuevo personal asociado a la innovación, o reentrenar o despedir este tipo de

personal, implica grandes costos de ajuste (Hall & Lerner, 2010), ya que tal personal no se encuentra fácilmente en el mercado (Guariglia & Liu, 2014) y al despedirlo este puede llevarse consigo a otras empresas parte de los frutos de la innovación desarrollada (Himmelberg & Petersen, 1994).

Los costos de bancarrota también han sido explorados en las actividades de innovación. Estos pueden surgir del hecho de que los activos de un proyecto de innovación suelen ser difícilmente liquidables. Asimismo, las empresas innovadoras con altos niveles de deuda tienen más probabilidad de exhibir dificultades financieras (Moon, 2021), por lo que los bancos tenderán a no prestarles. Sin embargo, la evidencia sugiere que los costos de bancarrota pueden llegar a impulsar a las empresas deudoras a intensificar sus actividades de innovación (Acharya & Subramanian, 2009; Higgins, 2012, p. 219).

En cuanto a la aversión al riesgo del gerente, se ha hallado evidencia que sugiere que entre mayor sea la actividad de innovación que se desarrolle en la empresa, menor será la aversión al riesgo del gerente (Ghadim, Pannell & Burton, 2005; Moon, 2021).

El sector industrial también ha sido identificado como un importante factor que influye en la financiación de la innovación debido a las diferencias entre la rentabilidad y el riesgo de los sectores. Diversos estudios han establecido la correlación que existe entre el desarrollo de actividades de innovación en las empresas y el nivel de desarrollo de los sectores y la industria (Hsu, Tian & Xu, 2014; Leiponen & Poczter, 2014; Mazzucato, 2013).

En los estudios sobre la financiación de la innovación usualmente se utilizan como variables de control el tamaño y la edad de las pymes. En general, las empresas más pequeñas y más jóvenes tienden a tener mayores restricciones financieras (Álvarez & Crespi, 2015; Cucculelli, 2018; Rivera-Godoy, 2015). En concordancia con esto, el estudio de Fernández (2017) halla un efecto positivo y significativo entre el tamaño (y la edad) y la probabilidad de innovar en las empresas latinoamericanas.

Otras variables de control que se tuvieron en cuenta en este trabajo fueron el perfil del gerente, el nivel de educación de los empleados y las redes de cooperación. En cuanto al nivel de educación de los empleados existe evidencia que sugiere que entre mayor sea su grado de conocimiento o nivel educativo, mayores probabilidades hay de que los empleados le aporten ideas innovadoras a la empresa (Romijn & Albaladejo, 2002).

Adicionalmente, la experiencia que ha tenido el gerente y su nivel educativo también influyen en que se desarrolle una cultura de innovación en las empresas (Romijn & Albaladejo, 2002). Asimismo, el estudio de Landry (2002), por ejemplo, sugiere que a mayor participación de la empresa en las redes empresariales, académicas y sociales, mayor es la probabilidad de la empresa de intensificar las actividades de innovación.

En Colombia, no hay evidencia sobre estudios que identifiquen las variables financieras más importantes para predecir la intensidad de la innovación, con excepción del trabajo de Fernández (2017) que estima la probabilidad de innovar y el nivel de innovación en varios países de Suramérica utilizando una regresión logística a partir de un número de variables seleccionadas. En general, los demás estudios que existen son de tipo descriptivo, tal como el de Sierra et al. (2009), quienes sugieren que las grandes empresas son las que más desarrollan actividades de innovación.

Por otra parte, otros estudios describen las principales fuentes de financiación que utilizan las empresas innovadoras colombianas y apuntan a que, en primera instancia, se utilizan los fondos internos, seguido de las fuentes externas (Barona-Zuluaga & Rivera-Godoy, 2017; Barona-Zuluaga, Rivera-Godoy, Aguilera-Cifuentes, & Garizado-Román, 2015; García-Pérez de Lema, Barona-Zuluaga, & Madrid-Guijarro, 2013; Padilla-Ospina, Rivera-Godoy, & Ospina-Holguín, 2015; Rivera-Godoy, 2015). Igualmente, se ha establecido que en Colombia el desarrollo de actividades de innovación es más común en los sectores manufacturero y de servicios (Barona-Zuluaga & Rivera-Godoy, 2017).

3. Metodología

El enfoque de estudio de esta investigación fue cuantitativo, centrado en el uso de herramientas de la analítica predictiva. La definición de innovación utilizada se refiere a la establecida por el Manual de Oslo, 3ª edición (OECD/Eurostat, 2005) que indica que la innovación es "la introducción de un nuevo, o significativamente mejorado, producto (bien o servicio), proceso, nuevo método de comercialización o un nuevo método organizativo, en las prácticas internas de la empresa, la organización del lugar de trabajo o las relaciones exteriores" (p.56). Cabe resaltar, sin embargo, que esta investigación solo considera la innovación de producto y de proceso, lo que concuerda con la definición de innovación introducida posteriormente a la aplicación de las encuestas por el Manual de Oslo, 4ª edición (OECD/Eurostat, 2018). De acuerdo con las Encuestas de Desarrollo e Innovación Tecnológica en la Industria Manufacturera y de Servicios (EDIT VIII y EDITS VI) realizadas en Colombia por el Departamento Administrativo Nacional de Estadísticas (DANE, 2017, 2018), estos son los dos tipos de innovación que más se desarrollan en las empresas colombianas. Adicionalmente, al referirnos a la financiación de la innovación apelamos a Hall (2010), quien aclara que "la inversión en innovación generalmente consiste en gastos de Investigación y Desarrollo (I+D), gastos de diseño y marketing para llevar un nuevo producto al mercado, inversión en el nuevo equipo de capital necesario e inversión en capacitación" (p. 2).

Para entrenar y validar los modelos de predicción de la intensidad de la innovación se seleccionó una muestra a través de un cuestionario por muestreo estratificado por ciudad, tamaño de empresa, sector (servicios/industria) y presencia/ausencia de innovación en la empresa. Un total de 157 pymes fueron encuestadas. Para probar la generalidad de los modelos predictivos se utilizó una muestra distinta a la usada para entrenar y validar los modelos. Esta segunda muestra fue tomada por conveniencia y contiene un total de 82 cuestionarios recolectados.

Para la definición de pyme a partir del tamaño de la empresa se utilizó la identificación de una Mipyme, a partir del total de activos, descrita en el artículo 2 de la Ley 905 de 2004 de carácter nacional y se usó el valor del salario mínimo mensual legal vigente del año 2016 (Banco de la República de Colombia, 2017).

La variable de la intensidad de la innovación se construyó con base en el índice compuesto de innovación desarrollado por Carayannis y Provance (2008), que incluye variables de salida y de entrada de la innovación. La variable dependiente de "Intensidad de la innovación" fue la primera componente principal del análisis de componentes principales de los rasgos de las salidas de la innovación (cantidad de innovaciones, tipo y grado de innovación, ventas esperadas por innovación) y de las entradas de la innovación (protección a la innovación, empleados tiempo completo en innovación y gasto en innovación).

Para la elaboración del cuestionario se tuvieron en cuenta las variables como el costo de ajuste, la aversión al riesgo del gerente, el costo esperado de quiebra por innovación, el costo esperado de quiebra, las características del crédito, los obstáculos para la innovación, las fuentes de financiación de corto plazo, la asimetría de la información sobre proyectos de innovación, las características de la empresa para acceder al crédito, la dificultad de las fuentes de financiación, las fuentes de financiación de largo plazo, el costo de capital, el riesgo moral y los costos de agencia, la preferencia por las fuentes de financiación, la financiación obtenida para la innovación, las redes de cooperación y el *spillover*. (El *spillover* se refiere en este trabajo a los beneficios que obtiene la empresa por absorber el conocimiento en innovación que ha sido creado por terceras partes, por ejemplo, por otras empresas, sin haber tenido que incurrir en los costos de innovación (Czarnitzki & Hottenrott, 2010). Para la definición específica de la variable, consúltese el Apéndice en línea).

Como variables de control se incluyeron el sector, el tamaño de la empresa, la edad de la empresa, el perfil del gerente, el nivel de educación de los empleados y las redes de cooperación. Para aquellas variables que requerían de información contable adicional, esta se obtuvo de la base de datos EMIS (2017).

La construcción de las variables dependientes e independientes se basó en el análisis de componentes principales, el promedio y el reajuste para lograr rasgos predictivos óptimos (véase la Tabla 1 para una enumeración de las variables y el Apéndice en línea, incluida la Tabla A, para una descripción completa de las definiciones y los métodos de construcción de las variables).

Tabla 1. Variables de control, independientes y dependientes.

Variable dependiente		
A. Intensidad de la innovación:	A1. Salidas de la innovación:	A.1.1. Cantidad de innovaciones A.1.2. Tipo y grado de innovación A.1.3. Ventas esperadas por innovación
	A2. Entradas de la innovación:	A.2.1. Protección a la innovación A.2.2. Empleados tiempo completo en innovación A.2.3. Gasto en innovación
Variables independientes		
A. Características para acceder al crédito:	A1. Acceso al crédito	
	A2. Garantía para la financiación:	A2.1. Colateral A2.2. Requirió garantía A2.3. Tipo de garantía A2.4. Monto de la garantía
	A3. Falta de garantía anterior	
	A4. Liquidez:	A4.1. Promedio de la razón corriente y prueba ácida. A4.2. Razón corriente A4.3. Prueba ácida
	A5. Endeudamiento:	A5.1. Apalancamiento A5.2. Razón de endeudamiento del activo A5.3. Apalancamiento a largo plazo
B. Características del crédito:	B1. Plazo del crédito B2. Tasa de financiación	
C. Fuentes de financiación a corto plazo		
D. Fuentes de financiación a largo plazo		
E. Preferencia por las fuentes de financiación		
F. Dificultad de las fuentes de financiación		
G. Riesgo moral y costos de agencia		
H. Aversión al riesgo del gerente		
I. Costos de ajuste		
J. Costo esperado de quiebra		
K. Costo de capital		
L. Financiación obtenida para la innovación		
M. Subsidios		
N. *Spillover*		
O. Deducción de impuestos por innovación		
P. Costo esperado de quiebra por innovación		

Q. Asimetría de la información sobre proyectos de innovación	
R. Obstáculos para la innovación 1:	R1. Percepción de riesgo económico R2. Período de retorno de la inversión muy largo R3. Saturación del mercado R4. Falta de infraestructura o maquinaria R5. Incertidumbre sobre introducción de innovación al mercado R6. Falta de personal calificado R7. Impacto negativo de regulaciones o leyes
S. Obstáculos para la innovación 2:	S1. Costos directos para innovar elevados S2. Costos de la financiación de la innovación muy altos S3. Rigidez organizacional S4. Falta de información sobre el mercado S5. Falta de información sobre nuevas tecnologías
T. Redes de cooperación	
Variables de control	
A. Perfil del gerente:	A1. Educación del gerente A2. Experiencia del gerente
B. Tamaño por empleados	
C. Educación de los empleados	
D. Edad de la empresa	
F. Sector mayor	

Nota: Para una descripción del proceso de ingeniería de rasgos, las definiciones de cada variable y las fuentes en las que se inspiran, ver el Apéndice en línea. Las variables "Subsidios" y "Deducción de impuestos por innovación" no se tuvieron en cuenta en los modelos predictivos finales por ser de varianza casi cero (Kuhn & Johnson, 2013).

Fuente: Elaboración propia basada en Padilla-Ospina et al. (2021).

Los modelos predictivos utilizados se basaron en redes neuronales. En el uso de la importancia de las variables a partir de redes neuronales este estudio es pionero, aunque previamente se habían utilizado modelos de redes neuronales para predecir el desempeño de la innovación, por ejemplo en las industrias de Taiwán (Chien, Wang, & Lin, 2010; Wang & Chien, 2006). Una red neuronal consta de variables que se organizan en capas enlazadas de manera similar a las conexiones de las neuronas de un cerebro (Ho, 2012). La predicción que resulta de una red neuronal está modelada por diversas variables intermedias o unidades ocultas y se pueden presentar redes neuronales de una o múltiples capas intermedias. En el modelo más básico de una red neuronal *feedforward* de una sola capa oculta, la capa inicial la conforman los predictores, que envían los datos de entrada a una capa intermedia con unidades ocultas. Cada una de estas unidades ocultas está, a su vez, conectada hacia adelante con la capa de salida, compuesta de una única unidad que calcula la variable de salida. En este modelo en particular, cada unidad oculta resulta de aplicar una función de activación a una combinación lineal de los predictores de la capa anterior y la unidad que determina la variable de salida, esto es, la intensidad de la innovación, es una combinación lineal de las unidades ocultas mencionadas (Kuhn & Johnson, 2013; Titterington, 2010).

Al calcular los modelos de redes neuronales se utilizó la optimización bayesiana con el fin de optimizar los parámetros que definen cada modelo alterando tanto el tipo de modelo (red convolucional o *feedforward*) como los conjuntos de hiperparámetros que definen cada modelo particular (número de conexiones, número de capas o función de activación, sea logística, rampa o tangente hiperbólica). La bondad o adecuación del modelo de regresión se calculó con la raíz del error cuadrático medio. Asimismo, se calculó el coeficiente de determinación R^2 de dos maneras distintas. Los valores que se reportan en este trabajo corresponden a la bondad o adecuación del modelo de regresión estimada en la muestra de prueba, es decir, en datos totalmente fuera de la muestra inicial utilizada para la construcción del modelo.

La raíz del error cuadrático medio se calcula como:

$$RMSE = \left(\frac{1}{N} \sum_{i=1}^{N} \left(\widehat{y}_i - y_i \right)^2 \right)^{1/2} \quad [1]$$

donde $\widehat{y}_i$ es el valor predicho de la intensidad de la innovación en una empresa i-ésima fuera de la muestra, y_i es el valor medido real de la intensidad de innovación en esa misma empresa y N es el tamaño de los datos de prueba, es decir, 82. Un valor pequeño del $RMSE$ indica que las predicciones fuera de la muestra están muy cercanas a los valores reales de intensidad de innovación.

La primera manera utilizada para calcular el coeficiente de determinación, que se denominará R_1^2, corresponde al cuadrado del coeficiente de correlación entre los valores observados y los valores predichos en los datos de prueba (Kuhn & Johnson, 2013). La segunda manera de cálculo, que se denominará R_2^2, corresponde a la siguiente fórmula (Kvalseth, 1985):

$$R_2^2 = 1 - \frac{RMSE^2}{RMSE_{base}^2}, \quad [2]$$

donde

$$RMSE_{base} = \left(\frac{1}{N} \sum_{i=1}^{N} \left(\overline{y}_i - y_i \right)^2 \right)^{1/2} \quad [3]$$

y $\overline{y}_i$ es el valor medio de la intensidad de la innovación en los datos de prueba, es decir,

$$\overline{y}_i = \frac{1}{N} \sum_{i=1}^{N} y_i \, . \quad [4]$$

La primera manera de calcular el coeficiente de determinación evalúa lo correlacionados que están los valores reales de la variable dependiente con los valores predichos fuera de la muestra. A su vez, la segunda manera de calcular el coeficiente de determinación evalúa fuera de la muestra la mejora en el error cuadrático medio del modelo de regresión particular respecto al modelo ingenuo donde cada predicción es el valor promedio de los datos. Ambos coeficientes de determinación pueden tomar valores entre 0 y 1, siendo 1 el valor óptimo.

Para obtener la importancia de la variable o rasgo *j* de acuerdo con el modelo predictivo dado k, la importancia de la variable *j* se calcula como el cociente del error cuadrático medio del modelo k una vez se permutan aleatoriamente entre las empresas los valores de la variable *j* en cuestión (en la muestra de prueba) sobre el error cuadrático medio del modelo k de base (sin cambios) (Molnar, 2020).

La media, desviación estándar y en general la distribución de la importancia de la variable j para un modelo k es simplemente la media, desviación estándar y distribución empírica que resulta de repetir este proceso M veces (en este trabajo M=50). De acuerdo con este procedimiento, una variable es más importante cuando la permutación de sus valores deteriora más el error de predicción del modelo original.

Finalmente, para calcular el efecto de las variables financieras y de control en la intensidad de la innovación de las pymes colombianas se elaboró un gráfico marginal de cada una de las variables calculadas en el modelo de predicción. Los gráficos marginales estiman el efecto y la dirección del efecto de cada variable en la empresa "promedio", definida esta como aquella que tiene como valor de cada variable la mediana de esta variable en la muestra que representa la población. Para construirlos se calculan los valores medianos para los factores predictivos para las empresas en la muestra de entrenamiento y se evalúa cómo cambia la intensidad de la innovación de acuerdo con el modelo de predicción con un cambio en la variable particular estudiada cuando las demás variables toman estos valores medianos *ceteris paribus*.

4. Resultados

A continuación, se presentan los resultados en términos de la jerarquía de las variables según su importancia para predecir la intensidad de la innovación y, más adelante, se presentan los efectos de cada variable sobre la intensidad de la innovación.

4.1. Importancia de las variables financieras para la intensidad de la innovación

Después de experimentos preliminares, para construir los modelos de predicción se realizó una búsqueda *grid* del número de conexiones, yendo desde una red neuronal de 50 conexiones a una de 125 conexiones, en intervalos de cinco en cinco. Es decir, para un número de conexiones establecido, se realizó la optimización bayesiana de los demás hiperparámetros en cada caso. El máximo de rondas de entrenamiento fue de 4000 y los modelos fueron entrenados en unidades de procesamiento gráficos (GPUs), (excepto para el modelo de 60 parámetros donde se usaron 3000 rondas, ya que con 4000 rondas se convergía a un modelo anómalo).

A los modelos óptimos se les impuso un parámetro de regularización igual a $(m-50)/25$, donde m es el número de conexiones de la red neuronal con el propósito de evitar el sobreajuste que se halló experimentalmente al aumentar el número de parámetros. Hubo una amplia diversidad de modelos resultantes, de acuerdo con la selección realizada por la optimización bayesiana de los demás hiperparámetros para cada número de conexiones. Algunos modelos fueron redes totalmente conectadas y otros, redes convolucionales; distintos modelos utilizaron diferentes funciones de activación, según el caso, a saber, la función logística, la función tangente hiperbólica y la función rampa; y el parámetro de *dropout* estuvo entre 0.21 y 0.70, bajo optimización Adam. Adam es un algoritmo de optimización que se puede utilizar en lugar del algoritmo de descenso de gradiente estocástico clásico. Adam actualiza los pesos de la red neuronal de forma iterativa a partir de tasas de aprendizaje para cada parámetro basadas en un promedio móvil exponencial del gradiente y del gradiente al cuadrado (Kingma & Ba, 2017). La profundidad de la red (el número de capas ocultas) seleccionada por la optimización bayesiana fue, sin embargo, consistentemente de dos, por lo que se privilegiaron redes no muy profundas.

En la Tabla 2 se puede apreciar la bondad o adecuación de cada uno de los dieciséis modelos de redes neuronales en los datos de prueba, es decir, totalmente fuera de la muestra. De manera general, se puede establecer que los dieciséis modelos tienen buenos resultados en términos del *RSME* y del R_1^2 y R_2^2. Debe recordarse cómo en las regresiones de redes neuronales se espera que un *RMSE* sea bajo, lo

que sugiere que las predicciones por fuera de la muestra están muy cercanas a los valores reales de la intensidad de la innovación; mientras que se esperan valores cercanos a 1 de R_1^2 y R_2^2.

Tabla 2. Resumen de los valores de bondad de ajuste de los dieciséis modelos de redes neuronales.

Número de Parámetros	RMSE	R_2^1	R_2^2
50	0.30	0.59	0.53
55	0.29	0.58	0.55
60	0.34	0.58	0.38
65	0.32	0.48	0.46
70	0.29	0.60	0.54
75	0.29	0.56	0.54
80	0.28	0.60	0.58
85	0.32	0.58	0.44
90	0.31	0.60	0.49
95	0.32	0.63	0.45
100	0.34	0.72	0.37
105	0.33	0.56	0.42
110	0.32	0.53	0.45
115	0.30	0.67	0.52
120	0.33	0.46	0.40
125	0.39	0.33	0.21

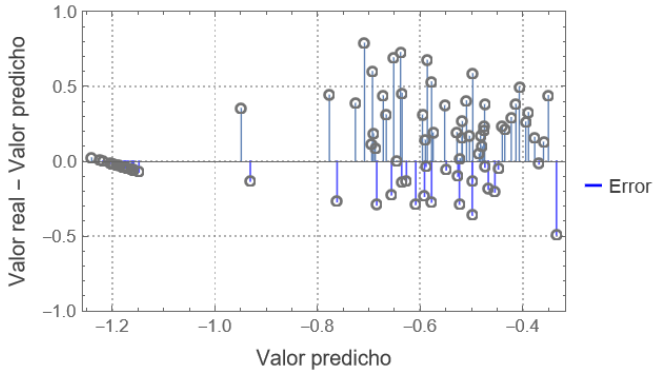
Nota: Los modelos con 70, 80 y 115 conexiones son los de mejor desempeño general en la predicción de la intensidad de innovación. El *RMSE* denota la raíz del error cuadrático medio y los coeficientes de determinación fuera de la muestra R_1^2 y R_2^2 se calculan de acuerdo con lo referido en la sección de Metodología.

Fuente: Elaboración propia.

En general, en los modelos con 70, 80 y 115 conexiones se presentaron los valores del *RMSE* más bajos y los valores más altos del R_1^2 y R_2^2. El modelo de 80 parámetros es el mejor de los dieciséis modelos realizados, con un *RSME* de 0.28, un R_1^2 de 0.60 y un R_2^2 de 0.58. El modelo de 70 parámetros es el segundo mejor modelo con un *RSME* de 0.29, un R_1^2 de 0.60 y un R_2^2 de 0.54. El tercer mejor modelo es el de 115 conexiones con un *RMSE* de 0.30, un R_1^2 de 0.67 y un R_2^2 de 0.52.

En la Figura 1 se pueden apreciar los resultados del modelo que surge de la combinación de los dieciséis modelos de regresión de redes neuronales para predecir la intensidad de la innovación. En él se observa un *RSME* de 0.29, un R_1^2 de 0.63 y un R_2^2 de 0.55, siendo un modelo bastante robusto fuera de la muestra, aunque no mejor que los modelos de 70, 80 y 115 parámetros. Por esta razón, no se calculó la importancia de las variables en este modelo combinado, recurriéndose mejor al gráfico de rankings relativos de la importancia de las variables para un panorama general de la importancia de las variables en todos los dieciséis modelos.

Figura 1. Gráfico de residuos del modelo combinado de los dieciséis modelos de redes neuronales de predicción de la intensidad de innovación.



Fuente: Elaboración propia.

En la Figura 2 se indica la posición en el ranking de importancia de las variables de cada variable independiente en cada uno de los dieciséis modelos de redes neuronales que predicen la intensidad de la innovación.

Figura 2. Rankings de importancia relativa de las variables para cada modelo de red neuronal de predicción de la intensidad de la innovación.

Fuente: Elaboración propia.

Las variables independientes a la izquierda de la Figura 2 aparecen ordenadas por el ranking promedio de cada variable en los dieciséis modelos: en la escala del ranking, 1 corresponde a la variable más importante y 23 a la menos importante.

Las nueve variables más importantes para la intensidad de la innovación fueron: "Costo de ajuste", "Tamaño por empleados", "Aversión al riesgo del gerente", "Costo esperado de quiebra por innovación", "Costo esperado de quiebra", "Características del crédito", "Obstáculos para innovar 2", "Fuentes de financiación de corto plazo" y "Asimetría de información sobre proyectos de innovación". Entre estas primeras nueve variables, la segunda fue una variable de control: "Tamaño por empleados", variable que resultó en principio más importante que las demás variables financieras, con la excepción del "Costo de ajuste".

4.2. Efecto de las variables financieras en la intensidad de la innovación en las pymes colombianas

A través de los gráficos marginales de las dieciséis variables del modelo, se calculó el efecto aproximado de cada variable sobre la intensidad de innovación en la empresa "promedio". Específicamente, el gráfico marginal muestra cómo cambia la intensidad de innovación al cambiar la variable en cuestión *ceteris paribus* asignando a todas las demás variables su mediana respectiva en la muestra de entrenamiento.

Entre las variables que tienen un efecto positivo en la intensidad de la innovación, es decir, aquellas en las que a mayor valor de la variable, mayor es la intensidad de la innovación, se encuentran: "Educación de los empleados", "Edad de la empresa", "Sector mayor", "Redes de cooperación", "*Spillover*", "Costo esperado de quiebra", "Perfil del gerente", "Fuentes de financiación a corto plazo", "Preferencia por las fuentes de financiación", "Características del crédito" y "Financiación obtenida para innovación". Al contrario, las variables que afectan negativamente la intensidad de las actividades de la innovación son: "Tamaño por empleados", "Aversión al riesgo del gerente", "Riesgo moral y costos de agencia", "Costo de ajuste", "Fuentes de financiación de largo plazo", "Dificultad de las fuentes de financiación", "Características para acceder al crédito", "Costo esperado de quiebra por innovación" y "Obstáculos para innovar 1". Las variables que en apariencia no tuvieron un efecto muy apreciable en la intensidad de la innovación son el "Costo de capital" y "Obstáculos para innovar 2".

El gráfico marginal de la variable "Asimetría de información sobre proyectos de innovación" exhibe una forma de U, siendo este un hallazgo nuevo para este tipo de estudios. Gráficos marginales similares resultaron al utilizar un modelo combinado de predicción a partir de los tres mejores modelos de redes neuronales. Las siguientes variables tuvieron un efecto diferente en este nuevo modelo combinado: "Edad" (efecto no muy apreciable), "Aversión al riesgo del gerente" (efecto positivo), "Costo de capital" (efecto positivo), "Perfil del gerente" (efecto negativo), "Fuentes de financiación de corto plazo" (efecto ligeramente negativo), "Asimetría de información sobre proyectos de innovación" (efecto negativo), "Obstáculos para innovar 1" (efecto ligeramente positivo), "Obstáculos para innovar 2" (efecto positivo).

5. Discusión

A continuación, se discuten brevemente los resultados de las diez variables más importantes para que las pymes colombianas intensifiquen sus actividades de innovación de acuerdo con los resultados obtenidos a partir de la predicción de los dieciséis modelos de redes neuronales y después de identificar las variables más importantes y su efecto.

Las variables "Costo de ajuste" y "Aversión al riesgo del gerente" son las dos más importantes (con excepción de la variable de control "Tamaño por empleados") para la predicción de la intensidad de la innovación. El valor reajustado promedio para las empresas que innovan del "Costo de ajuste" es de 0.04, mientras que es de 0.03 para las empresas que no innovan, es decir, es menor cualitativamente

para las empresas que no innovan (empero, la diferencia no es significativa de acuerdo con el test de Mann-Whitney). Lo hallado en este trabajo sugiere que las pymes que innovan tienen una mayor dificultad para modificar su producción en consonancia con las nuevas innovaciones, pero, a pesar de esa mayor dificultad, deciden innovar. El gráfico marginal de esta variable evidencia un efecto negativo sobre la intensidad de la innovación, es decir, a mayor costo de ajuste menor es la intensidad de las actividades de innovación en la empresa que tiene como valores en las demás variables la mediana. Otros estudios ya habían encontrado que los costos de ajuste eran más altos para las empresas que innovan (Hall & Rosenberg, 2010; Xu, 2020), pero la importancia fundamental de esta variable había sido ignorada hasta ahora.

El promedio de la variable reajustada "Aversión al riesgo del gerente" es mucho mayor en las empresas que innovan (0.08^{***}) que en las que no innovan (-0.01), de acuerdo con el test de Mann-Whitney (donde los tres asteriscos denotan que la variable es mayor con significancia estadística al 1%). Este resultado sugiere que los gerentes de las empresas innovadoras son más aversos al riesgo que los gerentes de las empresas que no innovan, lo que indica que emprenden procesos de innovación, considerados típicamente como de alto riesgo, de una manera hipotéticamente más planificada y racional que impulsiva y arriesgada. De acuerdo con el gráfico marginal, al aumentar la aversión al riesgo del gerente, la intensidad de la innovación disminuye en el modelo de predicción combinado principal. Este resultado concuerda con lo encontrado por Tsur, Sternberg y Hochman (1990) y Ghadim, Pannell y Burton (2005), quienes sugieren que una mayor aversión al riesgo del gerente reduce el desarrollo de actividades de innovación en las empresas.

En cuanto a la segunda variable más importante en el ranking promedio de los dieciséis modelos de redes neuronales, el "Tamaño por empleados", las empresas que innovan son significativamente más grandes, con 90.15^{***} empleados en promedio, que las empresas que no innovan, con 50.34 empleados en promedio, (donde tres asteriscos denotan que la variable de la pareja es mayor con significancia estadística al 1% según el test de Mann-Whitney). Sin embargo, de acuerdo con el gráfico marginal, a mayor tamaño de la empresa por número de empleados la intensidad de la innovación disminuye, lo que sugiere que puede que las empresas innovadoras tiendan a ser más grandes, como lo ha hallado por ejemplo Langebaek y Vásquez (2007) y Fernández (2017), pero que son las pequeñas y medianas empresas las que exhiben mayor intensidad de innovación.

Las variables que siguen en el ranking promedio de importancia de las variables para la predicción de la intensidad de la innovación se relacionan precisamente con el riesgo y son el "Costo esperado de quiebra por innovación" y el "Costo esperado de quiebra". El "Costo esperado de quiebra" no difiere estadísticamente entre las empresas que innovan y las que no innovan, pero cuando se remueven los valores en el 10% menor y mayor para calcular una media truncada, se puede apreciar que el costo esperado de quiebra es mayor en las empresas que innovan (1003.2^{**} millones de pesos colombianos) que en las que no innovan (502 millones de pesos), de acuerdo con el test de Mann-Whitney (donde dos asteriscos denotan que la variable de la pareja es mayor con significancia estadística al 5%). El gráfico marginal de la empresa "promedio" evidencia que la intensidad de la innovación aumenta al aumentar el costo esperado de quiebra. Esto coincide con por lo menos dos estudios que confirman que los costos de bancarrota impulsan a las empresas deudoras a desarrollar más actividades de innovación (Acharya & Subramanian, 2009; Higgins, 2012; Moon, 2021).

Por otro lado, el "Costo esperado de quiebra por innovación" antes del reajuste solo se puede medir finitamente en las empresas que innovan (por definición fue ilimitado en las empresas que no innovan, lo que es tratado adecuadamente por la función de reajuste en el rasgo final). El costo esperado de quiebra promedio por innovación fue de 2444.5 millones de pesos colombianos, exceptuando una empresa para la cual se designó como ilimitado. El gráfico marginal sugiere que entre mayor sea el costo de quiebra por innovación menor es la intensidad de las actividades de innovación. Este hallazgo coincide con la evidencia presentada, por ejemplo, por Aghion, Bloom, Blundell, Griffith y Howitt (2002).

La variable "Características del crédito" muestra que la tasa de los créditos a los que accedieron las empresas que innovan respecto a las que no innovan no difiere estadísticamente, según el test de Mann-Whitney, aunque es cualitativamente mayor en un punto básico. También muestra que el plazo del crédito sí resulta significativamente mayor para las empresas que innovan respecto a las que no innovan, según la misma prueba. El gráfico marginal demuestra que existe un efecto positivo de las "Características del crédito" con la probabilidad de intensificar las actividades de innovación. De acuerdo con esto, una tasa de crédito y un plazo favorable ayuda a que la empresa intensifique sus actividades de innovación. En la literatura, algunos estudios evidencian que las altas tasas de interés en los créditos para las pymes innovadoras tienen un impacto negativo en el desarrollo de actividades de innovación (Botta, 2017; Kleinknecht, 2016; Lussuamo & Serrasqueiro, 2020), por lo que Menshchikova y Sayapin (2016) y Merz (2019), por ejemplo, sugieren la implementación de políticas públicas que permitan brindar a las pymes innovadoras créditos con tasas de intereses más bajas y con plazos de pago mayores para incentivar el desarrollo de la innovación.

Aunque se encuentra en la séptima posición del ranking derivado de la predicción de la intensidad de la innovación, vale la pena discutir la variable "Obstáculos para la innovación 2". Las variables "Obstáculos para la innovación 1" y "2" corresponden a las dos componentes principales reajustadas del análisis de componentes principales de la relevancia de los obstáculos para la innovación calculada a partir de una escala de Likert sobre la relevancia de un listado de obstáculos (ver Tabla A en el Apéndice en línea).

La primera componente principal tiene cargas mayores a 0.4 (en valor absoluto) en los obstáculos: percepción de un excesivo riesgo económico, un periodo del retorno de la inversión demasiado largo, demasiada incertidumbre sobre la introducción de la innovación al mercado, costos directos de innovar demasiado altos, costos de la financiación de la innovación demasiado altos, falta de disponibilidad de financiación para innovar, falta de infraestructura o maquinaria, falta de personal calificado, falta de información sobre nuevas tecnologías, falta de información sobre las características del mercado, rigidez organizacional dentro de la empresa e impacto negativo de regulaciones o leyes. Por otro lado, la segunda componente principal que corresponde a "Obstáculos para la innovación 2" se concentra en los costos directos de innovar demasiado altos, costos de la financiación de la innovación demasiado altos, falta de información sobre nuevas tecnologías, falta de información sobre las características del mercado y rigidez organizacional dentro de la empresa.

Al examinar la variable reajustada se deduce que las empresas que innovan tienen cualitativamente menores obstáculos del tipo que corresponden a "Obstáculos para la innovación 2" (con un valor de la variable medio de -0.004) respecto a las empresas que no innovan (0.024). Aunque la diferencia no es significativa de acuerdo con el test *t* de Student, la diferencia cualitativa sugeriría que las empresas que innovan tienen, hipotéticamente, de acuerdo con las cargas de la componente principal, costos más bajos de innovar, menos información sobre la innovación y más rigidez organizacional en promedio (teniendo en cuenta los signos de las cargas).

Estos resultados concuerdan con algunos estudios que sugieren que los obstáculos a la innovación más relevantes para las empresas que innovan están relacionados con los factores de costos y conocimiento (Galia, Mancini & Morandi, 2012; García-Quevedo et al., 2018; Zhu, Wittmann & Peng, 2012). Por otra parte, autores como Damanpour (1991) y Galia y Legros (2004) han hallado que la rigidez organizacional es otro factor que puede obstaculizar el desarrollo de actividades de innovación. Sin embargo, cabe destacar que la variable "Obstáculos para innovar 2" parece no tener mayor efecto para la intensificación de la innovación según el gráfico marginal del modelo combinado principal (o tiene un efecto positivo, según el modelo combinado que utiliza las mejores tres redes neuronales).

En cuanto a la variable "Fuentes de financiación de corto plazo", se deduce que las empresas, innoven o no, utilizan más fondos internos o utilidades retenidas y luego préstamos bancarios o crédito de proveedores o clientes. El gráfico marginal sugiere que, a mayor uso de fuentes de financiación en el corto plazo, mayor es la intensidad de las actividades de innovación en la empresa. Esto coincide con los resultados de Ghisetti y Montresor (2020), por ejemplo. Los trabajos de Barona-Zuluaga, Rivera-

Godoy y Aguilera-Cifuentes (2015) y Barona-Zuluaga y Rivera-Godoy (2017) de hecho sugieren que las empresas colombianas innovadoras financian sus actividades de innovación especialmente con recursos internos, financiación bancaria y créditos de proveedores, lo que coincide con lo obtenido en el presente estudio.

La novena variable que se registra en el ranking de importancia de las variables para la predicción de la intensidad de la innovación es la "Asimetría de información sobre proyectos de innovación". Usando la escala de Likert de 1 a 5 antes del reajuste, donde 1 denota poca asimetría de información y 5 mucha, se puede concluir que las empresas que innovan (con un promedio de 3.95) no difieren significativamente en esta variable respecto a las empresas que no innovan (con un promedio de 3.78), según el test *t* de Student.

Existen dos puntos de vista en la literatura a este respecto. Autores como Aboody y Lev (2000) consideran que las actividades de I+D mejoran los problemas de asimetría de información en las empresas; pero, al contrario, estudios como los de Markman, Balkin y Schjoedt (2001) y Canepa y Stoneman (2007) sugieren que los problemas de asimetría de la información son severos en las pymes innovadoras. Precisamente, en concordancia con esta paradoja, el gráfico marginal de la empresa "promedio" muestra que el efecto de la variable "Asimetría de información sobre proyectos de innovación" sobre la intensidad de la innovación de la empresa "promedio" tiene forma de U y es, por ende, no lineal, lo que explicaría que se puedan hallar tanto relaciones positivas como negativas de la asimetría con la intensidad de la innovación, dependiendo del nivel de asimetría presente.

La variable "Sector mayor" resulta ser de importancia intermedia. En cuanto a la diferencia en el sector mayor, el 46.32% de las empresas que innovan pertenecen al sector industrial, mientras que el 42.37% de las empresas que no innovan pertenecen al sector de servicios, sin que haya una diferencia significativa de acuerdo con el test Chi cuadrado $N-1$ (Campbell, 2007). En el gráfico marginal se demuestra que el "Sector mayor" tiene un efecto positivo sobre la intensidad de la innovación, indicando que al pasar una empresa del sector de manufactura al de servicios se esperaría una mayor intensidad en las actividades de innovación. Esto coincide con autores como Leiponen y Poczter (2014) y Hsu et al. (2014) que encuentran que el sector influye en el desarrollo de las actividades de innovación.

En suma, los resultados de este trabajo arrojan un nuevo y amplio panorama sobre la financiación de la innovación que permite afirmar que para que las pymes decidan intensificar sus actividades de innovación predominan las variables capaces de limitar la innovación, como el costo de ajuste y algunos obstáculos para innovar, pero sobre todo predominan las variables centradas en el riesgo de quiebra de la empresa o del proyecto de innovación y en la aversión al riesgo del gerente. De esta manera, se llena un vacío en la literatura respecto a cuáles son las variables asociadas a la financiación de la innovación que más influyen en la intensificación de las actividades de innovación, en este caso en un país emergente como Colombia, y qué efectos tienen estas variables sobre la intensidad de la innovación.

6. Conclusiones

De acuerdo con los resultados encontrados en la presente investigación, las cinco variables asociadas a la financiación que más influyen en la intensificación de las actividades de innovación por parte de las pymes colombianas están asociadas al costo de ajuste, al tamaño de la empresa en número de empleados, a la aversión al riesgo del gerente, al costo esperado de quiebra por innovación y al costo esperado de quiebra en general. Asimismo, a partir de la construcción de gráficos marginales para hallar un efecto aproximado de cada variable sobre la intensidad de la innovación en una empresa "promedio", se encontró que el costo esperado de quiebra por innovación, el tamaño por empleados, la aversión al riesgo del gerente y el costo de ajuste tienen un efecto negativo en la intensificación de la innovación, mientras que el costo esperado de quiebra en general tiene un efecto positivo en la intensificación de las actividades de la innovación en las pymes.

Como conclusión, se puede sugerir que las variables más importantes para la intensidad de la innovación de las pymes colombianas no se relacionan primariamente con la financiación y sus fuentes. Excepto las variables de control, las variables más definitivas corresponden al costo de ajuste y a variables asociadas al riesgo de innovar y a cómo lo afronta el gerente, incluyendo por ejemplo la aversión al riesgo del gerente y el costo esperado de quiebra general y por innovación. Las características del crédito y las fuentes de financiación al corto plazo son rasgos asociados a la intensidad de la innovación con una presencia solo secundaria en la jerarquía, a pesar de que la literatura se ha enfocado especialmente en temas asociados a las fuentes de financiación y a la estructura de capital. Ciertos tipos de obstáculos para innovar al igual que la asimetría de la información sobre los proyectos de innovación tienen igualmente una importancia secundaria, aunque desde el punto de vista de la economía de la innovación la asimetría de la información haya ocupado gran parte de la atención académica. Curiosamente, entre las variables menos importantes para intensificar la innovación se incluyen algunas como la financiación obtenida para la innovación, las redes de cooperación, el *spillover*, la educación de los empleados y el perfil de gerente (en términos de su educación y experiencia).

La principal limitación de este estudio, sin embargo, está asociada al uso de un único país arquetípico para la extracción de la muestra. Desafortunadamente, ya que variables tales como la eficiencia de los mercados, la legislación financiera e impositiva o los subsidios son aproximadamente homogéneos en todo el territorio del país estudiado, no fue posible, en términos prácticos, incluir el efecto de estas variables en los modelos (por tener una varianza nula o casi nula).

A pesar de lo anterior, los resultados hallados podrían permitir precisamente que los organismos estatales, las cámaras de comercio y las asociaciones industriales de Colombia reencaucen sus esfuerzos, de ser necesario, para impactar sobre aquellas variables que la evidencia destaca como las de mayor influencia en la intensificación de la innovación. Por ejemplo, la disponibilidad de créditos para aumentar o redirigir la capacidad productiva podría mitigar los costos de ajuste, mientras que el ofrecimiento de garantías parciales adicionales a las empresas que innoven podría reducir los efectos de la aversión al riesgo del gerente y del costo esperado de quiebra por innovación. Una extensión del presente trabajo podría examinar qué tipo de instrumentos de política pública y de fomento a la innovación podrían ser los más adecuados para fomentar la innovación, y de antemano se esperaría que fueran instrumentos que pudieran causar el mayor impacto al menor costo sobre las variables más importantes de acuerdo con el presente estudio.

Finalmente, en cuanto a las implicaciones metodológicas de este trabajo, el mismo introduce un método innovador a la literatura de la innovación, método que podría emplearse en problemas de investigación similares, como lo es, por ejemplo, la búsqueda de los principales determinantes no financieros de la innovación.

Apéndice en línea

El Apéndice en línea está disponible en https://rebrand.ly/ImpYEfec y describe el proceso de ingeniería de rasgos, las definiciones de las variables y las fuentes en las que se inspiran.

Financiación

Esta investigación fue financiada por Minciencias (Convocatoria 617 de 2013) y la Universidad del Valle (Convocatoria para estudiantes de doctorado de 2016).

Referencias

Aboody, D., & Lev, B. (2000). Information asymmetry, R&D, and insider gains. *The Journal of Finance*, *55*(6), 2747-2766. https://doi.org/10.1111/0022-1082.00305

Acharya, V. V., & Subramanian, K. V. (2009). Bankruptcy codes and innovation. *The Review of Financial Studies, 22*(12), 4949-4988. https://doi.org/10.1093/rfs/hhp019

Aghion, P., Bloom, N., Blundell, R., Griffith, R., & Howitt, P. (2002). Competition and innovation: An inverted U relationship. *The Quarterly Journal of Economics*, *120*(2), 701-728. https://doi.org/10.3386/w9269

Álvarez, R., & Crespi, G.A. (2015). Heterogeneous effects of financial constraints on innovation: Evidence from Chile. *Science and Public Policy*, *42*(5), 711-724. https://doi.org/10.1093/scipol/scu091

Banco de la República de Colombia (2017). Salario mínimo legal de Colombia. Recuperado de https://www.banrep.gov.co/es/estadisticas/salarios#gsc.tab=0

Barona-Zuluaga, B., & Rivera-Godoy, J.A. (2017). Análisis comparativo de la inversión-financiación de la innovación entre sectores manufacturero y de servicios en Colombia. *Libre Empresa*, *14*(1), 11-27. https://doi.org/10.18041/libemp.2017.v14n1.27101

Barona-Zuluaga, B., Rivera-Godoy, J. A., Aguilera-Cifuentes, C. I., & Garizado-Román, P. A. (2015). Financiación de la innovación en Colombia. *Entramado*, *11*(1), 80-93. https://doi.org/10.18041/entramado.2015v11n1.21126

Beaudry, C., & Allaoui, S. (2012). Impact of public and private research funding on scientific production: The case of nanotechnology. *Research Policy*, *41*(9), 1589-1606. https://doi.org/10.1016/j.respol.2012.03.022

Berger, A., & Udell, G. (1998). The economics of small business finance: The roles of private equity and debt markets in the financial growth cycle. *Journal of Banking & Finance*, *22*(6-8), 613-673. https://doi.org/10.1016/S0378-4266(98)00038-7

Botta, A. (2017). The complex inequality-innovation-public investment nexus: What we (don't) know, what we should know and what we have to do. *Forum for Social Economics*, *46*(3), 275-298. https://doi.org/10.1080/07360932.2016.1150867

Brancati, E. (2015). Innovation financing and the role of relationship lending for SMEs. *Small Business Economics*, *44*(2), 449-473. https://doi.org/10.1007/s11187-014-9603-3

Brown, J.R., Fazzari, S.M., & Petersen, B.C. (2009). Financing innovation and growth: Cash flow, external equity, and the 1990s R&D boom. *The Journal of Finance*, *64*(1), 151-185. https://doi.org/10.1111/j.1540-6261.2008.01431.x

Brown, J.R., Martinsson, G., & Petersen, B.C. (2012). Do financing constraints matter for R&D? *European Economic Review*, *56*(8), 1512-1529. https://doi.org/10.1016/j.euroecorev.2012.07.007

Campbell, I. (2007). Chi-squared and Fisher-Irwin tests of two-by-two tables with small sample recommendations. *Statistics in Medicine*, *26*(19), 3661-3675. https://doi.org/10.1002/sim.2832

Canepa, A., & Stoneman, P. (2007). Financial constraints to innovation in the UK: Evidence from CIS2 and CIS3. *Oxford Economic Papers*, *60*(4), 711-730. https://doi.org/10.1093/oep/gpm044

Carayannis, E.G., & Provance, M. (2008). Measuring firm innovativeness: Towards a composite innovation index built on firm innovative posture, propensity and performance attributes. *International Journal of Innovation and Regional Development*, *1*(1), 90-107. https://doi.org/10.1504/IJIRD.2008.016861

Chen, H.-L., Hsu, W.-T., & Huang, Y.-S. (2010). Top management team characteristics, R&D investment and capital structure in the IT industry. *Small Business Economics*, *35*(3), 319-333. https://doi.org/10.1007/s11187-008-9166-2

Chien, S.-C., Wang, T.-Y., & Lin, S.-L. (2010). Application of neuro-fuzzy networks to forecast innovation performance - The example of Taiwanese manufacturing industry. *Expert Systems with Applications*, *37*(2), 1086-1095. https://doi.org/10.1016/j.eswa.2009.06.107

Cucculelli, M. (2018). Firm age and the probability of product innovation. Do CEO tenure and product tenure matter? *Journal of Evolutionary Economics*, *28*(1), 153-179. https://doi.org/https://doi.org/10.1007/s00191-017-0542-4

Czarnitzki, D. (2006). Research and development in small and medium-sized enterprises: The role of financial constraints and public funding. *Scottish Journal of Political Economy*, *53*(3), 335-357. https://doi.org/10.1111/j.1467-9485.2006.00383.x

Czarnitzki, D., & Hottenrott, H. (2010). Financing constraints for industrial innovation: What do we know? *SSRN Electronic Journal*. https://doi.org/10.2139/ssrn.1749386

Czarnitzki, D., Hottenrott, H., & Thorwarth, S. (2011). Industrial research versus development investment: The implications of financial constraints. *Cambridge Journal of Economics*, *35*(3), 527-544. https://doi.org/10.2139/ssrn.1494312

Damanpour, F. (1991). Organizational innovation: A meta-analysis of effects of determinants and moderators. *Academy of Management Journal*, *34*(3), 555-590. https://doi.org/10.2307/256406

DANE (2017). *Encuesta de desarrollo e innovación tecnológica en la industria manufacturera-EDIT VIII* [Conjunto de datos]. https://microdatos.dane.gov.co/index.php/catalog/553/datafile/F37/V10700

DANE (2018). *Encuesta de desarrollo e innovación tecnológica en el sector servicios EDITS VI*. [Conjunto de datos]. https://microdatos.dane.gov.co/index.php/catalog/584/datafile/F35/V10179

EMIS (2017). Financial statements - Colombian companies (real sector). [Conjunto de datos]. https://www.emis.com

Farlex Financial Dictionary (2012). *Adjustment costs*. Farlex Financial Dictionary. http://financial-dictionary.thefreedictionary.com/Adjustment+Costs

Fernández, V. (2017). The finance of innovation in Latin America. *International Review of Financial Analysis*, *53*, 37-47. https://doi.org/10.1016/j.irfa.2017.08.008

Galia, F., & Legros, D. (2004). Complementarities between obstacles to innovation: Evidence from France. *Research Policy*, *33*(8), 1185-1199. https://doi.org/10.1016/j.respol.2004.06.004

Galia, F., Mancini, S., & Morandi, V. (19-21 de junio de 2012). *Obstacles to innovation: What hampers innovation in France and Italy* [conferencia]. Druid Society Conference 2012 Innovation and Competitiveness. Copenhagen, Denmark. https://citeseerx.ist.psu.edu/viewdoc/download?doi=10.1.1.477.4363&rep=rep1&type=pdf

García-Pérez de Lema, D., Barona-Zuluaga, B., & Madrid-Guijarro, A. (2013). Financiación de la innovación en las mipyme iberoamericanas. *Estudios Gerenciales*, *29*(126), 12-16. https://doi.org/10.1016/S0123-5923(13)70015-9

García-Quevedo, J., Segarra-Blasco, A., & Teruel, M. (2018). Financial constraints and the failure of innovation projects. *Technological Forecasting and Social Change*, *127*, 127-140. https://doi.org/10.1016/j.techfore.2017.05.029

Ghadim, A.K.A., Pannell, D.J., & Burton, M.P. (2005). Risk, uncertainty, and learning in adoption of a crop innovation. *Agricultural Economics*, *33*(1), 1-9. https://doi.org/10.1111/j.1574-0862.2005.00433.x

Ghisetti, C., & Montresor, S. (2020). On the adoption of circular economy practices by small and medium-size enterprises (SMEs): Does "financing-as-usual" still matter? *Journal of Evolutionary Economics*, *30*(2), 559-586. https://doi.org/10.1007/s00191-019-00651-w

Guariglia, A., & Liu, P. (2014). To what extent do financing constraints affect Chinese firms' innovation activities? *International Review of Financial Analysis*, *36*(C), 223-240. https://doi.org/10.1016/j.irfa.2014.01.005

Hahn, D., Minola, T., Vismara, S., & De Stasio, V. (2019). Financing innovation: Challenges, opportunities, and trends. *Foundations and Trends® in Entrepreneurship*, *15*(3-4), 328-367. https://doi.org/10.1561/0300000085-1

Hall, B.H. (2010). The financing of innovative firms. *Review of Economics and Institutions*, *14*(2), 8-29. https://doi.org/10.5202/rei.v1i1.4

Hall, B. H., & Lerner, J. (2010). The financing of R&D and innovation. En B. H. Hall & N. Rosenberg (Eds.), *Handbook of the economics of innovation* (1ª ed., Vol. 1, pp. 609-639). Amsterdam: Elsevier North Holland. https://doi.org/10.1016/S0169-7218(10)01014-2

Hall, B. H., & Rosenberg, N. (2010). Introduction of the handbook. En B. H. Hall & N. Rosenberg (Eds.), *Handbook of the economics of innovation* (1ª ed., Vol. 1, pp. 3-9). Amsterdam: Elsevier North Holland. https://doi.org/10.1016/S0169-7218(10)01001-4

Higgins, R. C. (2012). *Analysis for financial management* (10a ed.). New York, NY: McGraw-Hill/Irwin.

Himmelberg, C. P., & Petersen, B. C. (1994). R&D and internal finance: A panel study of small firms in high-tech industries. *The Review of Economics and Statistics*, *76*(1), 38-51. https://doi.org/10.2307/2109824

Ho, R. (2012). Big data machine learning: Patterns for predictive analytics . *DZone Refcardz*, Vol. 2014. http://refcardz.dzone.com/refcardz/machine-learning-predictive

Holmstrom, B. (1989). Agency costs and innovation. *Journal of Economic Behavior & Organization*, *12*(3), 305-327. https://doi.org/10.1016/0167-2681(89)90025-5

Hottenrott, H., & Richstein, R. (2020). Start-up subsidies: Does the policy instrument matter? *Research Policy*, *49*(1), 103888. https://doi.org/10.1016/j.respol.2019.103888

Howell, S.T. (2017). Financing innovation: Evidence from R&D grants. *American Economic Review*, *107*(4), 1136-1164. https://doi.org/10.1257/aer.20150808

Hsu, P.-H., Tian, X., & Xu, Y. (2014). Financial development and innovation: Cross-country evidence.

Journal of Financial Economics, *112*(1), 116-135. https://doi.org/10.1016/j.jfineco.2013.12.002

Jensen, M.C., & Meckling, W.H. (1976). Theory of the firm: Managerial behavior, agency costs and ownership structure. *Journal of Financial Economics*, *3*(4), 305-360. https://doi.org/10.1016/0304-405X(76)90026-X

Kingma, D.P., & Ba, J. (2017). *Adam: A method for stochastic optimization*. ArXiv. https://arxiv.org/abs/1412.6980.

Kleinknecht, A. (2016). *Innovation patterns in crisis and prosperity: Schumpeter's long cycle reconsidered*. Berlin: Alemania: Springer.

Kuhn, M., & Johnson, K. (2013). *Applied predictive modeling*. Nueva York, NY: Springer.

Kvalseth, T.O. (1985). Cautionary Note about R^2. *The American Statistician*, *39*(4), 279-285. https://doi.org/10.2307/2683704

Landry, R., Amara, N., & Lamari, M. (2002). Does Social Capital Determine Innovation? To What Extent? *Technological Forecasting and Social Change, 69*(7), 681-701. https://doi.org/10.1016/S0040-1625(01)00170-6

Langebaek, A., & Vásquez, D. (2007). Determinantes de la actividad innovadora en la industria manufacturera colombiana. *Borradores de Economía*, *433*(Marzo), 1-35. https://www.banrep.gov.co/docum/ftp/borra433.pdf

Leiponen, A.E., & Poczter, S. (2014). Financing of innovation strategies in emerging economies. *SSRN Electronic Journal*. https://doi.org/10.2139/ssrn.2403494

Ley 905/2004. Por medio de la cual se modifica la Ley 590 de 2000 sobre promoción del desarrollo de las micro, pequeña y mediana empresa Colombiana y se dictan otras disposiciones. Diario Oficial No. 45.628 de 2 de agosto de 2004, Colombia: Congreso de la República de Colombia. http://www.secretariasenado.gov.co/senado/basedoc/ley_0905_2004.html

Lintner, J. (1965). The valuation of risk assets and the selection of risky investments in stock portfolios and capital budgets. *The Review of Economics and Statistics*, *47*(1), 13-37. https://doi.org/10.2307/1924119

Lussuamo, J.M., & Serrasqueiro, Z. (2020). Restrictions on access to bank finance for SMEs in Cabinda-Angola. *Small Enterprise Research*, *27*(3), 275-288. https://doi.org/10.1080/13215906.2020.1835705

Mancusi, M.L., & Vezzulli, A. (2014). R&D and credit rationing in SMEs. *Economic Inquiry*, *52*(3), 1153-1172. https://doi.org/10.1111/ecin.12080

Markman, G.D., Balkin, D.B., & Schjoedt, L. (2001). Governing the innovation process in entrepreneurial firms. *The Journal of High Technology Management Research*, *12*(2), 273-293. https://doi.org/10.1016/S1047-8310(01)00040-2

Mazzucato, M. (2013). Financing innovation: Creative destruction vs. destructive creation. *Industrial and Corporate Change, 22*(4), 851-867. https://doi.org/10.1093/icc/dtt025

Menshchikova, V.I., & Sayapin, A.V. (2016). Model of innovation-oriented state economic policy. *European Research Studies Journal*, *XIX*(1), 189-200. https://doi.org/10.35808/ersj/514

Merz, M. (2019). Innovative efficiency as a lever to overcome financial constraints in R&D contests.

Economics of Innovation and New Technology, 30(3), 284-294. https://doi.org/10.1080/10438599.2019.1695946

Modigliani, F., & Miller, M.H. (1958). The cost of capital, corporation finance and the theory of investment. *The American Economic Review*, *48*(3), 261-297. http://www.jstor.org/stable/1809766

Mohnen, P., Palm, F.C., van der Loeff, S.S., & Tiwari, A. (2008). Financial constraints and other obstacles: Are they a threat to innovation activity? *De Economist*, *156*(2), 201-214. https://doi.org/10.1007/s10645-008-9089-y

Molnar, C. (2020). *Interpretable machine learning. A guide for making black box models explainable.* https://christophm.github.io/interpretable-ml-book/

Moon, B. (2021). Strategic R&D projects choice of the firm: Theory and evidence from Korea. *Technology Analysis & Strategic Management*, *33*(5), 465-475. https://doi.org/10.1080/09537325.2019.1644310

Mossin, J. (1966). Equilibrium in a capital asset market. *Econometrica*, *34*(4), 768-783. https://doi.org/10.2307/1910098

Myers, S.C. (1984). Capital structure puzzle. *The Journal of Finance*, *39*(3), 574-592. https://doi.org/10.3386/w1393

Nor, N.G.M., Bhuiyan, A.B., Said, J., & Alam, S.S. (2016). Innovation barriers and risks for food processing SMEs in Malaysia: A logistic regression analysis. *Malaysian Journal of Society and Space*, *12*(2), 167 - 178.

O'Brien, J.P. (2003). The capital structure implications of pursuing a strategy of innovation. *Strategic Management Journal*, *24*(5), 415-431. https://doi.org/10.1002/smj.308

OECD/Eurostat (2018). *Oslo Manual 2018: Guidelines for Collecting, Reporting and Using Data on Innovation, 4th Edition. The Measurement of Scientific, Technological and Innovation Activities*. OECD Publishing, Paris/Eurostat, Luxemburgo. https://doi.org/10.1787/9789264304604-en

OECD/Eurostat (2005). *Oslo Manual: Guidelines for Collecting and Interpreting Innovation Data, 3rd Edition. The Measurement of Scientific and Technological Activities*. OECD Publishing, Paris, https://doi.org/10.1787/9789264013100-en

Padilla-Ospina, A.M., Medina-Vásquez, J.E., & Ospina-Holguín, J.H. (2021). Financial determinants of innovation in SMEs: A machine learning approach. *Journal of Small Business Strategy, 31*(5), 117-131. https://doi.org/10.53703/001c.29839

Padilla-Ospina, A.M., Medina-Vásquez, J.E., & Rivera-Godoy, J.A. (2018). Financing innovation: A bibliometric analysis of the field. *Journal of Business & Finance Librarianship*, *23*(1), 63-102. https://doi.org/10.1080/08963568.2018.1448678

Padilla-Ospina, A.M., Rivera-Godoy, J.A., & Ospina-Holguín, J.H. (2015). Determinantes de la estructura de capital de las mypimes del sector real participantes del Premio Innova. *Revista Finanzas y Política Económica*, *15*(1), 359-380. https://doi.org/10.14718/revfinanzpolitecon.2015.7.2.8

Rivera-Godoy, J.A. (2015). Análisis de la relación de la innovación empresarial con la financiación en Colombia. *Cuadernos de Administración*, *28*(50), 11-37. https://doi.org/10.11144/Javeriana.cao28-50.arie

Romijn, H., & Albaladejo, M. (2002). Determinants of innovation capability in small electronics and software firms in Southeast England. *Research Policy, 31*(7), 1053-1067. https://doi.org/10.1016/S0048-7333(01)00176-7

Ross, S.A. (1976). The arbitrage theory of capital asset pricing. *Journal of Economic Theory*, *13*(3), 341-360. https://doi.org/10.1016/0022-0531(76)90046-6

Serrasqueiro, Z., Nunes, P.M., & da Rocha Armada, M. (2016). Capital structure decisions: Old issues, new insights from high-tech small- and medium-sized enterprises. *The European Journal of Finance*, *22*(1), 59-79. https://doi.org/10.1080/1351847X.2014.946068

Sharpe, W.F. (1964). Capital asset prices: A theory of market equilibrium under conditions of risk. *The Journal of Finance*, *19*(3), 425-442. https://doi.org/10.1111/j.1540-6261.1964.tb02865.x

Sierra, J., Malaver, F., Vargas, M., Robledo, J., & Malaver, F. (2009). La financiación de la innovación: un análisis a partir de la encuesta de innovación de Bogotá y Cundinamarca. En J. R. Velásquez, F. Malaver-Rodríguez, & M. Vargas-Pérez (Eds.), *Encuestas, datos y descubrimiento de conocimiento sobre la innovación en Colombia* (pp. 175-210). Bogotá: Colombia: Universidad Nacional de Colombia, Pontificia Universidad Javeriana, Universidad Pontificia Bolivariana y Observatorio Colombiano de Ciencia y Tecnología.

Titterington, M. (2010). Neural networks. *Wiley Interdisciplinary Reviews: Computational Statistics*, *2*(1), 1-8. https://doi.org/10.1002/wics.50

Treynor, J.L. (1961). Market value, time, and risk. *SSRN Electronic Journal*. https://doi.org/10.2139/ssrn.2600356

Tsur, Y., Sternberg, M., & Hochman, E. (1990). Dynamic modelling of innovation process adoption with risk aversion and learning. *Oxford Economic Papers*, *42*(2), 336-355. https://doi.org/https://doi.org/10.1093/oxfordjournals.oep.a041950

Wang, T.-Y., & Chien, S.-C. (2006). Forecasting innovation performance via neural networks-a case of Taiwanese manufacturing industry. *Technovation*, *26*(5-6), 635-643. https://doi.org/10.1016/j.technovation.2004.11.001

Wang, Y., Li, J., & Furman, J.L. (2017). Firm performance and state innovation funding: Evidence from China's innofund program. *Research Policy*, *46*(6), 1142-1161. https://doi.org/10.1016/j.respol.2017.05.001

Xu, Z. (2020). Economic policy uncertainty, cost of capital, and corporate innovation. *Journal of Banking & Finance*, *111*, 105698. https://doi.org/10.1016/j.jbankfin.2019.105698

Zhang, D., & Zheng, W. (2020). Does financial constraint impede the innovative investment? Micro evidence from China. *Emerging Markets Finance and Trade*, *56*(7), 1423-1446. https://doi.org/10.1080/1540496X.2018.1542594

Zhu, Y., Wittmann, X., & Peng, M. W. (2012). Institution-based barriers to innovation in SMEs in China. *Asia Pacific Journal of Management*, *29*(4), 1131-1142. https://doi.org/10.1007/s10490-011-9263-7

REVISTA DE MÉTODOS CUANTITATIVOS PARA LA ECONOMÍA Y LA EMPRESA (33). Páginas 116-133.
Junio de 2022. ISSN: 1886-516X. D.L: SE-2927-06.
www.upo.es/revistas/index.php/RevMetCuant/article/view/4450

Análisis empírico de correlación entre el indicador de estructura de capital y el indicador de margen de utilidad neta en pequeñas y medianas empresas

Barrera Lievano, Jhony Alexander
Corporación Universitaria Minuto de Dios - UNIMINUTO (Colombia)
Correo electrónico: jhony.barrera.lievano@gmail.com

RESUMEN

La presente investigación aborda los resultados financieros del año 2017 de 1.900 empresas de una ciudad capital de América Latina, con los que se calculan los indicadores financieros de estructura de capital y margen de utilidad neta. Se plantea como objetivo central determinar si existe o no una correlación inversa y significativa, entre el indicador financiero de estructura de capital y el resultado del indicador financiero de margen de utilidad neta para las empresas, según la actividad económica que desarrollen, a través del cálculo del coeficiente de correlación de Pearson. Se aplica una metodología cuantitativa, de tipo explicativa, que procura identificar patrones en los resultados financieros analizados que den luz de la existencia de una estructura de capital general óptima (relación entre el pasivo y el patrimonio). Como conclusión general, con los datos analizados, se evidencia que existe una correlación inversa pero no significativa entre los indicadores. Se propone como futuro tema de investigación ahondar en la misma temática con base al tamaño de empresa, según ventas netas registradas en un periodo determinado.

Palabras clave: empresa, estructura de capital, financiación, correlación, indicadores financieros.
Clasificación JEL: G32.
MSC2010: 62J10.

Artículo recibido el 27 de noviembre de 2019 y aceptado el 7 de julio de 2021.

Empirical analysis of correlation between Debt/Equity Ratio and the Net profit margin ratio in Small and Medium enterprises

ABSTRACT

The present investigation addresses the financial results of the year 2017 of 1.900 companies of a capital city from Latin America, with which the financial indicators of capital structure and net profit margin are calculated. The central objective is to determine whether or not there is an inverse and significant correlation between the financial indicator of capital structure and the result of the financial indicator of net profit margin for companies, according to economic activity that they develop, through the calculation of the Pearson's correlation coefficient. A quantitative methodology, of an explanatory type, is applied that seeks to identify patterns in the analyzed financial results that give light of the existence of an optimal general capital structure (relationship between the liability and equity). As a general conclusion, with the analyzed data, it is evidenced that there is an inverse but not significant correlation between the indicators. It is proposed as a future research topic to delve into the same theme based on the size of the company, according to net sales recorded in a given period.

Keywords: company, capital structure, financing, correlation, financial indicators.
JEL classification: G32.
MSC2010: 62J10.

1. Introducción

La perdurabilidad de las empresas juega un papel fundamental en el crecimiento de un país. Analizado desde el circuito económico, como lo explica Massad (2007) los tres grandes actores de la economía son la familia, el estado y la empresa, y estos generan relaciones de beneficio mutuo.

La existencia y perdurabilidad de las empresas está ligada a la intención real de invertir capital para el desarrollo de actividades económicas; intención que es materializada por los que se denominan dueños, socios o accionistas de este tipo de sociedades.

Los dueños, socios o accionistas de las empresas están dispuestos a invertir su dinero procurando obtener un beneficio económico. Partiendo de esta base, es de resaltar la importancia del desempeño financiero de las empresas, que se traduce en la generación de utilidades que, al finalizar el periodo contable, se estimarán para una repartición entre los mencionados, respetando los términos de la ley.

La estructura de financiación de la empresa (su composición) ha sido tema de análisis, respecto al peso que ésta tiene frente a los resultados financieros y los efectos que puede generar para los réditos de los socios, dueños o accionistas de este tipo de organizaciones. Este análisis ha llevado al planteamiento de teorías y modelos para la medición del impacto de una relación u otra del pasivo y patrimonio como fuentes de financiación del activo de la empresa. Entre los principales aportes a este punto específico se encuentran la Teoría estática de la estructura de capital, abanderada por Modigliani y Miller (1958), Modigliani y Miller (1963) y Myers (1977); y la Teoría del orden jerárquico, asociada a Donaldson (1961), Myers (1984) y Myers y Majluf (1984).

Esta investigación tiene como objetivo central determinar si existe o no una correlación inversa y significativa, entre el indicador financiero de estructura de capital y el resultado del indicador financiero de margen de utilidad neta para las empresas, según la actividad económica que desarrollen. Se plantea como pregunta de investigación: ¿se puede evidenciar una correlación inversa y significativa entre la estructura de capital de la empresa y el resultado del indicador de margen de utilidad neta, según la actividad económica desarrollada, para un periodo determinado? Es de recalcar que existen resultados de investigaciones que evidencian que no hay relación directa y significativa entre los mencionados indicadores (Barrera et al., 2020).

Para abordar esta pregunta, se trabaja con la siguiente información: datos financieros suministrados por la Cámara de Comercio de Bogotá de las pequeñas y medianas empresas - PYME de la localidad de Engativá (Bogotá DC, Colombia) que renovaron matrícula mercantil ante la Cámara de Comercio de Bogotá para el año 2018 y que presentaron estados financieros de 2017 a la misma entidad. Sobre esta base se aplican los criterios que se describen en la metodología.

Con esta información, se calculan los indicadores financieros de estructura de capital y de margen de utilidad neta. Los datos para la construcción de dichos indicadores provienen de diferentes estados financieros: por un lado, el indicador de estructura de capital se construye con base en lo reportado en el estado de situación financiera, por otro lado, el indicador de margen de utilidad neta se construye con base en información proveniente del estado de resultados. Esta selección particular permite que la información de construcción de los indicadores no se vea afectada de manera directa por resultados secuenciales de operaciones de suma o resta.

Calculados los indicadores financieros mencionados, para cada PYME sujeta a este estudio, se procede a calcular el coeficiente de correlación de Pearson entre los indicadores relacionados. Se generan conclusiones respecto a lo hallado y se proponen nuevas interrogantes para investigaciones futuras.

2. Revisión de la literatura

Toda fuente de financiación de la empresa proviene, a nivel contable, del reconocimiento de la existencia de pasivos y/o patrimonio (Fernández, 2014). La estructura de financiación refleja la fuente de financiación del activo contable de la empresa.

El análisis sobre las fuentes de financiación de las empresas ha sido tema de trabajo, por lo menos desde la década de los cincuenta del siglo pasado. Sin embargo, no se ha llegado a un consenso o a un reconocimiento generalizado de la estructura adecuada o correcta.

Son varias las investigaciones y modelos que procuraron determinar cómo se debe establecer la estructura de financiación de las empresas. Dentro de las más relevantes, se encontró que las investigaciones de Modigliani y Miller (1958), Modigliani y Miller (1963) y Myers (1977) buscaron identificar el impacto de la estructura de financiación frente al valor de la empresa; por su parte Myers y Majluf (1984) buscaron estimar el impacto de la estructura de financiación frente a los costos de agencia y la participación en la propiedad de la compañía.

Como lo relacionan Ross et al. (2014) cuando se trata de decisiones sobre estructura de capital, en esencia equivale a maximizar el valor de toda la empresa. De ahí la importancia para estas organizaciones de buscar el balance adecuado en su estructura de capital.

2.1. Estructura de financiación

Se reconoce como el punto de partida del análisis formal de la estructura de financiación la publicación del artículo *The cost of capital, corporation finance and the theory of investment* (Modigliani & Miller, 1958). Los autores de manera muy rudimentaria y simplista plantearon que, como conclusión de su estudio, se podía asegurar que la estructura de financiación de la empresa no afectaba el valor de la compañía. Sin embargo, cinco años más tarde, los mismos autores a manera de corrección publicaron nuevos avances de su investigación, donde aseguraron que su modelo matemático inicial planteado, en 1958, no contempló las bondades fiscales que existen para el financiamiento de la deuda (Modigliani & Miller, 1963). En su corrección los autores aseguraron que la existencia de una ventaja impositiva para el financiamiento de la deuda no significa obligatoriamente que las empresas deban buscar usar la cantidad máxima posible de deuda en su estructura de capital.

La investigación de Modigliani y Miller abre la ventana de la posible existencia de una estructura óptima de capital, debida a la existencia del beneficio fiscal frente a la adquisición de la deuda. Este beneficio se evidencia en el estado de resultados, ya que para el cálculo del impuesto de renta, a la utilidad base para su estimación, previamente se le ha restado el valor de los intereses incurridos por financiación.

2.2. Teoría del equilibrio estático

En su planteamiento Myers (1977) estipuló que el monto de la deuda emitida por la empresa debe ser igual al valor presente de las opciones de la empresa para realizar inversiones futuras; esa cantidad es la que maximiza el valor de mercado de la empresa. Lo anterior representa que las inversiones que realice la empresa deberán ser tomadas con la conciencia que el retorno a generar en el futuro se deberá evaluar, entre otros, con base en la fuente de financiación que se tome, la cual puede ser a través del pasivo o patrimonio.

En palabras de Ross et al. (2014) la teoría estática de la estructura de capital "Expresa que una empresa se endeuda hasta el punto en que el beneficio fiscal de un dólar adicional de deuda es igual al costo proveniente de la cada vez mayor probabilidad de crisis financiera" (p. 446). Esta teoría establece, en términos generales, que los cambios solo deben ser dados en la relación de estructura de capital (deuda-patrimonio), lo que mantiene un activo constante.

El foco de análisis está en la afectación de los rendimientos financieros y, por ende, en el valor de la empresa, dada la relación de financiación de las operaciones de la compañía, no solamente en el presente, sino también en el futuro, medido a través del valor presente de las operaciones futuras. Esto supone una estructura de capital óptima (o adecuada).

2.3. Teoría de la jerarquía financiera

Con fundamento en el modelo planteado por Myers y Majluf (1984) concluye que los empresarios se inclinarán siempre a desarrollar sus actividades con fuentes de financiación internas de preferencia con aquellas externas que tenderán a ser más costosas y con las que se puede llegar a perder el poder de decisión en la empresa.

La jerarquía de preferencias de fuentes de financiación, de acuerdo con los representantes de esta teoría, está dada en primer lugar por los fondos generados internamente; en segundo lugar, deuda externa (pasivo); en tercer lugar, ampliación de capital social (patrimonio), todo lo anterior, con base a lo mencionado por Pesce et al (2015) citando a Donaldson (1961), Myers (1984) y Myers y Majluf (1984).

El planteamiento de esta teoría analiza la estructura de capital desde la óptica del impacto de las fuentes de financiación en cuanto al valor real de la empresa y la concentración del poder de decisión.

2.4. Indicadores financieros estructura de capital y margen de utilidad neta

Los indicadores financieros son datos resultantes de operaciones entre cuentas de los estados financieros (Herrera et al., 2012). Su utilidad está en poder medir el desempeño de la empresa en cuanto a diversas relaciones que se pueden generar entre las magnitudes involucradas en los planteamientos matemáticos estipulados. Como lo asegura Gitman y Zutter (2016), los indicadores financieros son base para evaluar y analizar en términos relativos los resultados financieros obtenidos por la empresa en un periodo determinado.

El indicador financiero de estructura de capital hace parte del grupo de indicadores de deuda, como lo mencionan Gitman y Zutter (2016). Por su parte Córdoba (2014) asegura que el resultado de dividir el valor del total pasivo entre el valor del total patrimonio da como resultado la estructura de capital. La ecuación 1 presenta la fórmula matemática del indicador.

$$Estructura\ de\ capital = \frac{\text{Total pasivo}}{\text{Total patrimonio}} \quad [1]$$

Según la fórmula, se puede inferir que la interpretación del resultado obtenido está dada en cuanto a la cantidad de pasivos con relación al patrimonio existente: por cada unidad monetaria que hay en el patrimonio, existe determinada cantidad de unidades monetarias en el total pasivo. Dicho de otra forma, por cada unidad monetaria que existe en el patrimonio, la empresa cuenta con determinada cantidad de unidades monetarias adeudadas reflejadas en el total pasivo.

Por otra parte, el indicador financiero de margen de utilidad neta, como lo mencionan Gitman y Zutter (2016) "hace parte del grupo de indicadores de rentabilidad" (p.72). Por su parte Córdoba (2014) asegura que el resultado de dividir el valor de la utilidad neta entre el total de las ventas netas da como resultado el margen de utilidad neta. La ecuación 2 presenta la fórmula matemática del indicador.

$$Margen\ de\ utilidad\ neta = \frac{\text{Utilidad neta}}{\text{Ventas netas}} \quad [2]$$

Según la fórmula, se puede inferir que la interpretación del resultado obtenido está dada en la relación existente entre qué cantidad de las ventas netas se convirtió en utilidad neta. En otras palabras,

que, por cada unidad monetaria recibida por concepto de ventas netas, determinada cantidad de unidades monetarias se convirtió en utilidad neta.

2.5. Clasificación de PYME en Colombia

El significado de empresa es amplio. Como lo menciona Barrera (2017), tras realizar una revisión literaria en cuanto a las definiciones de la palabra "empresa" en diferentes áreas del conocimiento, ésta puede ser definida como:

> Sistema conformado por un grupo de personas que mediante la aplicación del proceso administrativo busca producir, distribuir y/o comercializar bienes y/o servicios, utilizando los factores de producción, en busca de un fin determinado dado por sus dueños o propietarios, que en todos los casos siempre será la obtención de riqueza económica. Este sistema se caracteriza por ser una unidad compleja y por estar inmersa en un ambiente de riesgo. (p. 29)

Las empresas en Colombia se clasifican, por tamaño, acorde a lo estipulado por la ley. Las clasificaciones por tamaño de empresa están enmarcadas bajo las denominaciones de micro empresa, pequeña empresa, mediana empresa y empresa. A 31 de diciembre de 2017, la legislación existente que reglamenta el tamaño de las empresas está enmarcada en la ley 590 de 2000, la ley 905 de 2004, la ley 1151 de 2007 y la ley 1450 de 2011, que establecen lo relacionado en la Tabla 1.

Tabla 1. Tamaño de empresa (Mipyme) legislación vigente a 2018.

Tamaño de empresa	Nº. de trabajadores	Total de activos	Ventas brutas anuales
Micro	Menos de 11	Menos de 501 smmlv	No reglamentada
Pequeña	Entre 11 y 50	Entre 501 y 5.000 smmlv	No reglamentada
Mediana	Entre 51 y 200	Entre 100.000 y 610.000 UVT	No reglamentada

Nota: smmlv = salario mínimo mensual legal vigente. UVT = Unidad de valor tributario.
Fuente: Adaptado de Ley 590 de 2000, Ley 905 de 2004, Ley 1151 de 2007 y Ley 1450 de 2011.

Son tres las variables que se toman en cuenta para la clasificación de las Mipyme según lo especifica la ley. Sin embargo, no todas las variables fueron reglamentadas a 2017. Como lo menciona Barrera Lievano (2019) la variable de valor de ventas brutas a 2018 no había sido reglamentada por el gobierno nacional.

3. Contextualización

La localidad de Engativá se encuentra ubicada al noroccidente de la ciudad de Bogotá (Colombia). Según datos de la Secretaría de Planeación Distrital (2011, p.7) esta localidad "cuenta con una extensión total de 3.588,1 hectáreas", lo que representa unos 35,88 kilómetros cuadrados. Según Peña-Barrera (2010) "la extensión del área metropolitana de la ciudad de Bogotá es de 3.550 kilómetros cuadrados" (p.35), por lo que se deduce que la extensión de la localidad de Engativá representa el 1,01% del área metropolitana de Bogotá.

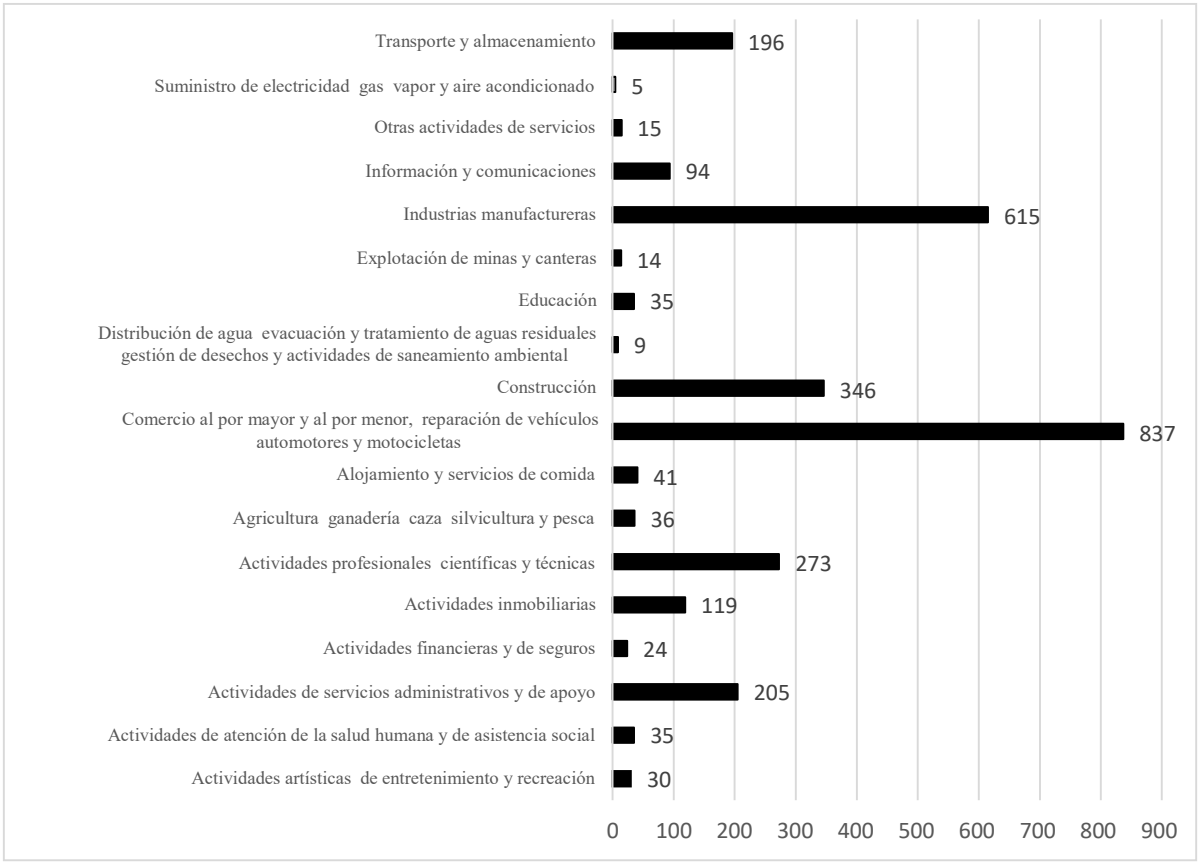
A nivel territorial, la localidad de Engativá cuenta con nueve Unidades de Planeamiento Zonal - UPZ, que se denominan como: Álamos, Bolivia; Boyacá Real; Engativá; Garcés Navas; Jardín Botánico; Las Ferias; Minuto de Dios; y Santa Cecilia (Decreto 619 de 2000). Según la Secretaría de Planeación Distrital (2018), se estima que en total la localidad alberga unos 883.319 habitantes al año 2018.

La localidad de Engativá, para el año 2018, según datos suministrados por la Cámara de Comercio de Bogotá, contó con un parque PYME de 2.929, de las cuales 447 fueron medianas

empresas y 2.482 pequeñas empresas, 15,3% y 84,7% respectivamente, con una relación aproximada de casi 5,6 pequeñas empresas por cada mediana empresa.

Respecto a la actividad económica, las PYME de la localidad de Engativá presentan su mayor concentración en la actividad económica de Comercio al por mayor y al por menor, reparación de vehículos automotores y motocicletas, 28,6%, seguida de la actividad económica de Industrias manufactureras, 21,0% y de Construcción, 11,8%. La menor concentración se encontró en las actividades económicas de Suministro de electricidad, gas, vapor y aire acondicionado, 0,2%, y Distribución de agua, evacuación y tratamiento de aguas residuales, gestión de desechos y actividades de saneamiento ambiental 0,3%. La Figura 1 presenta la distribución de las PYME de la localidad por actividad económica.

Figura 1. Distribución parque PYME por actividad económica - Localidad de Engativá, año 2018.



Fuente: Elaboración propia.

La Tabla 2 presenta la distribución, por actividad económica, del parque PYME de la localidad de Engativá, que para el año 2018 presentaron matrícula mercantil activa, y desagrega la misma información según tamaño de la PYME.

Tabla 2. PYME de la localidad de Engativá con matrícula mercantil activa año 2018. Distribución por actividad económica.

PYME localidad de Engativá por actividad económica - Matricula activa 2018	Total PYME		Total mediana empresa		Total pequeña empresa	
	Cantidad	Peso	Cantidad	Peso	Cantidad	Peso
Actividades artísticas de entretenimiento y Recreación	30	1,00%	7	1,60%	23	0,90%
Actividades de atención de la salud humana y de asistencia social	35	1,20%	10	2,20%	25	1,00%
Actividades de servicios administrativos y de Apoyo	205	7,00%	30	6,70%	175	7,10%
Actividades financieras y de seguros	24	0,80%	4	0,90%	20	0,80%
Actividades inmobiliarias	119	4,10%	41	9,20%	78	3,10%
Actividades profesionales científicas y técnicas	273	9,30%	24	5,40%	249	10,00%
Agricultura, ganadería, caza, silvicultura y pesca	36	1,20%	5	1,10%	31	1,20%
Alojamiento y servicios de comida	41	1,40%	6	1,30%	35	1,40%
Comercio al por mayor y al por menor, reparación de vehículos automotores y motocicletas	837	28,60%	145	32,40%	692	27,90%
Construcción	346	11,80%	29	6,50%	317	12,80%
Distribución de agua, evacuación y tratamiento de aguas residuals, gestión de desechos y actividades de saneamiento ambiental	9	0,30%	0	0%	9	0,40%
Educación	35	1,20%	2	0,40%	33	1,30%
Explotación de minas y canteras	14	0,50%	4	0,90%	10	0,40%
Industrias manufactureras	615	21,00%	87	19,50%	528	21,30%
Información y comunicaciones	94	3,20%	9	2,00%	85	3,40%
Otras actividades de servicios	15	0,50%	2	0,40%	13	0,50%
Suministro de electricidad, gas, vapor y aire acondicionado	5	0,20%	1	0,20%	4	0,20%
Transporte y almacenamiento	196	6,70%	41	9,20%	155	6,20%
Total general	**2.929**	**100%**	**447**	**100%**	**2.482**	**100%**

Fuente: Adaptado de Cámara de Comercio de Bogotá.

Al desagregar por tamaño de empresa, se evidencia que para las medianas empresas en la localidad de Engativá su mayor agrupación se encontró en la actividad económica de Comercio al por mayor y al por menor, reparación de vehículos automotores y motocicletas, 32,4%, seguida de Industrias manufactureras 19,5%. De las pequeñas empresas de la localidad, se halló que su mayor concentración, según actividad económica, se encontró en Comercio al por mayor y al por menor, reparación de vehículos automotores y motocicletas, 27,9%, seguida de Industrias manufactureras, con un 21,3%. La Tabla 3 ilustra lo relacionado.

Tabla 3. Mayor y menor concentración de PYME localidad de Engativá con matrícula mercantil activa, por actividad económica y por tamaño - 2018.

Concen-tración	Total PYME		Total mediana empresa		Total pequeña empresa	
	Actividad económica	Peso	Actividad económica	Peso	Actividad económica	Peso
	Comercio al por mayor y al por menor	28,6%	Comercio al por mayor y al por menor	32,4%	Comercio al por mayor y al por menor	27,9%

Mayor	reparación de vehículos automotores y motocicletas		reparación de vehículos automotores y motocicletas		reparación de vehículos automotores y motocicletas	
	Industrias manufactureras	21,0%	Industrias manufactureras	19,5%	Industrias manufactureras	21,3%
Menor	Suministro de electricidad, gas, vapor y aire acondicionado	0,2%	Suministro de electricidad, gas, vapor y aire acondicionado	0,2%	Suministro de electricidad, gas, vapor y aire acondicionado	0,2%
	Distribución de agua, evacuación y tratamiento de aguas residuals, gestión de desechos y actividades de saneamiento ambiental	0,3%	Educación	0,4%	Distribución de agua, evacuación y tratamiento de aguas residuals, gestión de desechos y actividades de saneamiento ambiental	0,4%
			Otras actividades de servicios	0,4%		

Fuente: Adaptado de Cámara de Comercio de Bogotá.

En promedio, el total activo, el total pasivo, el patrimonio, las ventas netas y la utilidad o pérdida neta de las PYME de la localidad de Engativá para el año 2017 fue, en su orden (cifras en dólares USD, liquidados a tasa representativa del mercado registrada por el Banco de la República de Colombia (2018) a 31 de diciembre de 2017): USD $846.774,64; USD $412.356,73; US $434.417,91; USD $766.627,47; y, USD $43.047,56. Los resultados por actividad se presentan en la Tabla 4.

Tabla 4. Resumen promedio de resultados financieros año 2017 de PYME localidad de Engativá con matrícula mercantil activa a 2018.

Actividad económica	Activo	Pasivo	Patrimonio	Ventas netas	Utilidad neta
Actividades artísticas de entretenimiento y recreación	908.526,08	367.957,44	540.568,64	1.022.558,19	45.076,86
Actividades de atención de la salud humana y de asistencia social	1.082.869,66	651.670,59	431.199,08	1.189.168,27	67.366,81
Actividades de servicios administrativos y de apoyo	773.930,10	365.308,17	408.621,93	1.256.173,93	56.644,35
Actividades financieras y de seguros	1.077.381,25	527.469,08	549.912,17	336.397,87	123.792,93
Actividades inmobiliarias	1.484.153,91	558.586,05	925.567,86	154.638,83	69.289,90
Actividades profesionales científicas y técnicas	599.236,26	307.385,30	291.850,96	624.512,95	43.947,36
Agricultura, ganadería, caza, silvicultura y pesca	610.447,77	264.593,81	345.853,96	392.350,91	31.198,53
Alojamiento y servicios de comida	735.625,27	418.818,07	316.807,20	976.832,74	16.113,61
Comercio al por mayor y al por menor, reparación de vehículos automotores y motocicletas	910.550,08	526.095,07	384.455,02	1.271.686,44	25.527,80
Construcción	563.179,34	260.624,34	302.555,00	637.103,89	35.970,19
Distribución de agua, evacuación y tratamiento de aguas residuals, gestión de desechos y actividades de saneamiento ambiental	474.464,88	193.472,85	280.992,03	467.153,76	17.296,90

Educación	618.869,11	268.800,52	350.068,59	628.958,03	40.254,68
Explotación de minas y canteras	1.181.837,71	589.931,28	591.906,42	592.925,38	26.710,59
Industrias manufactureras	733.758,64	376.954,80	356.803,84	822.776,42	26.358,17
Información y comunicaciones	761.387,07	413.924,20	347.462,88	1.020.135,58	54.417,12
Otras actividades de servicios	508.021,40	255.128,43	252.892,97	549.079,81	44.858,41
Suministro de electricidad, gas, vapor y aire acondicionado	1.128.869,97	450.111,30	678.758,68	600.061,41	12.549,53
Transporte y almacenamiento	1.088.835,04	625.589,88	463.245,16	1.256.780,02	37.482,39
Promedio general	**846.774,64**	**412.356,73**	**434.417,91**	**766.627,47**	**43.047,56**

Cifras en dólares (USD).

Fuente: Adaptado de Cámara de Comercio de Bogotá.

La cantidad y participación de PYME que presentó pérdida en el ejercicio del año 2017 fue de 217 (7,4%), con un promedio de (cifras en dólares USD, liquidados a tasa representativa del mercado registrada por el Banco de la República de Colombia (2018) a 31 de diciembre de 2017) USD $-163.319,93. Su distribución por actividad económica y su participación respecto al total de empresas presentadas por actividad se evidencia en la Tabla 5.

Tabla 5. Cantidad de PYME localidad de Engativá con matrícula mercantil activa a 2018 que presentaron pérdida del ejercicio en el año 2017.

Actividad económica	Total PYME	Con pérdida del ejercicio	Participación sobre el total	Promedio resultado
Actividades artísticas de entretenimiento y recreación	30	4	13,3%	- 62.623,33
Actividades de atención de la salud humana y de asistencia social	35	3	8,6%	- 48.823,54
Actividades de servicios administrativos y de apoyo	205	12	5,9%	- 18.816,33
Actividades financieras y de seguros	24	2	8,3%	- 4.338,25
Actividades inmobiliarias	119	10	8,4%	- 41.117,66
Actividades profesionales científicas y técnicas	273	18	6,6%	- 83.866,71
Agricultura ganadería caza silvicultura y pesca	36	1	2,8%	- 18.250,05
Alojamiento y servicios de comida	41	5	12,2%	- 168.705,88
Comercio al por mayor y al por menor, reparación devehículos automotores y motocicletas	837	84	10,0%	- 251.193,55
Construcción	346	10	2.9%	- 122.173,40
Distribución de agua, evacuación y tratamiento de aguas residuales, gestión de desechos y actividades desaneamiento ambiental	9	1	11,1%	- 5.698,22
Explotación de minas y canteras	14	1	7,1%	- 118.813,16
Industrias manufactureras	615	42	6,8%	- 104.036,51
Información y comunicaciones	94	9	9,6%	- 46.695,01
Suministro de electricidad, gas, vapor y aire acondicionado	5	1	20,0%	- 149.558,36
Transporte y almacenamiento	196	14	7,1%	- 331.470,13
Total general	**2.929**	**217**	**7,4%**	**- 163.319,93**

Cifras en dólares (USD).

Fuente: Adaptado de Cámara de Comercio de Bogotá.

En términos relativos, la actividad económica que presentó mayor cantidad de PYME con pérdida del ejercicio fue Suministro de electricidad, gas, vapor y aire acondicionado (20,0%) seguida de Actividades artísticas de entretenimiento y recreación (13,3%), y Alojamiento y servicios de comida

(12,2%). Las actividades económicas de Educación y Otras actividades de servicios no presentaron pérdidas.

4. Metodología

En busca de abordar la pregunta planteada en la investigación y dar alcance al objetivo determinado, se desarrolla una investigación con metodología cuantitativa, de tipo explicativa, que procura identificar patrones significativos en los resultados financieros de 2017 obtenidos por las PYME de la localidad de Engativá, según clasificación de actividades económicas CIIU- Rev 4 A.C (Resolución 066 del 31 de enero de 2012), siempre que dicha actividad tenga una cantidad de PYME igual o superior al 3% sobre el total de las PYME de la localidad con matrícula mercantil activa a junio de 2018. El diseño de investigación se cataloga como documental. La fuente de datos a analizar es secundaria, información financiera suministrada por la Cámara de Comercio de Bogotá respecto al total de pequeñas y medianas empresas - PYME que presentan matrícula mercantil activa para el año 2018 y están registradas en la localidad de Engativá. La base de datos se depura teniendo en cuenta los siguientes criterios: se seleccionan todas las PYME que presenten registro de valor positivo en la cuenta de total patrimonio (valor superior a 0), que registren valor superior a 0 en la cuenta de ventas netas, que la cuenta del total pasivo no sea mayor o igual a 10 veces el valor absoluto de la cuenta de total patrimonio, que la cuenta de ganancias y pérdidas presente un valor diferente a 0, y que ese valor no sea igual o inferior al valor absoluto en negativo de la cuenta de ventas netas, y finalmente, que la cuenta de ganancias y pérdidas presente un valor que no sea igual o superior al valor absoluto de la cuenta de ventas netas.

Se procede a calcular, para cada PYME, discriminadas por actividades económicas, según clasificación de actividades económicas CIIU- Rev 4 A.C, los indicadores financieros de estructura de capital y margen de utilidad neta, los cuales se analizan contrastando los resultados obtenidos por las PYME objeto de estudio, que se encuentran clasificadas en la misma actividad económica. Posteriormente se calcula el coeficiente de correlación de Pearson entre los resultados de los dos indicadores. Para organización y procesamiento de datos se utilizan los programas SPSS versión 23 y MS Excel 2016.

5. Resultados

La localidad de Engativá, según base de datos suministrada por la Cámara de Comercio de Bogotá, a julio de 2018 contó con un total de 2.929 PYME con matrícula mercantil activa. Al aplicar los criterios de selección especificados en la metodología, en cuanto a selección individual de PYME, quedan hábiles para analizar 2.226 PYME, distribuidas por actividad económica, como se ilustra en la Tabla 6.

Tabla 6. PYME localidad de Engativá con matrícula mercantil activa a 2018 que presentan ventas en los resultados financieros del periodo 2017. Totales por actividad económica.

Actividad económica	Cantidad empresas	Participación Relativa
Comercio al por mayor y al por menor, reparación de vehículos automotoresy motocicletas	645	22,02%
Industrias manufactureras	490	16,73%
Construcción	261	8,91%
Actividades profesionales científicas y técnicas	208	7,10%
Actividades de servicios administrativos y de apoyo	154	5,26%
Transporte y almacenamiento	142	4,85%

Actividades inmobiliarias	75	2,56%
Información y comunicaciones	71	2,42%
Alojamiento y servicios de comida	30	1,02%
Agricultura, ganadería, caza, silvicultura y pesca	26	0,89%
Actividades artísticas de entretenimiento y recreación	26	0,89%
Actividades de atención de la salud humana y de asistencia social	25	0,85%
Educación	25	0,85%
Actividades financieras y de seguros	15	0,51%
Otras actividades de servicios	13	0,44%
Explotación de minas y canteras	8	0,27%
Distribución de agua, evacuación y tratamiento de aguas residuals, gestión de desechos y actividades de saneamiento ambiental	8	0,27%
Suministro de electricidad, gas, vapor y aire acondicionado	4	0,14%
Total	**2.226**	**76,00%**

Fuente: Adaptado de Cámara de Comercio de Bogotá.

Respecto al total de PYME que conforman la actividad económica, se identifica que solo seis de éstas acogen una cantidad relativa igual o superior al 3% sobre el total de las PYME con matrícula mercantil activa a junio de 2018. La Tabla 7 presenta las actividades económicas que cumplen los criterios individuales y colectivos estipulados en la metodología.

Tabla 7. Actividad económica según criterios de selección.

Actividad económica	Total PYME	Participación sobre el total de PYME
Comercio al por mayor y al por menor, reparación de vehículos automotores y motocicletas	645	22,02%
Industrias manufactureras	490	16,73%
Construcción	261	8,91%
Actividades profesionales científicas y técnicas	208	7,10%
Actividades de servicios administrativos y de apoyo	154	5,26%
Transporte y almacenamiento	142	4,85%
Total PYME seleccionadas según criterios establecidos	**1.900**	**64,87%**
Total de PYME en la localidad con matrícula activa 2018	**2.929**	

Fuente: Adaptado de Cámara de Comercio de Bogotá.

Teniendo en cuenta lo anterior, se trabaja con los resultados financieros obtenidos por el 64,87% de las PYME de la localidad de Engativá que presentan matrícula mercantil activa para el año 2018, y que cumplen con todos los criterios especificados en la metodología, un total de 1.900 PYME.

Determinadas las actividades económicas con las que se realizó el proceso de verificación de resultados financieros para el cálculo de los indicadores de estructura de capital y margen de utilidad neta, se procedió a calcular, por empresa, los mencionados indicadores, y a analizar a nivel estadístico los resultados obtenidos por actividad económica; se calculan la media aritmética y desviación estándar de la media aritmética. Posteriormente, se utilizó la totalidad de los datos de los dos indicadores de todas las PYME objeto de estudio, por actividad económica, y se calculó el coeficiente de correlación de Pearson. Los resultados se presentan a continuación.

5.1. Indicador de estructura de capital

Con base a la fórmula 1, según la información financiera suministrada por la Cámara de Comercio de Bogotá, se procedió a calcular el indicador de estructura de capital para el total de PYME de cada actividad económica seleccionada previamente; los resultados estadísticos para la media aritmética y la desviación estándar de la media aritmética se presentan en la Tabla 8.

Tabla 8. Resultados media aritmética y desviación estándar – Indicador de estructura de capital. Resultados 2017.

Actividad económica	Total PYME según criterio	Participación sobre el total de PYME	Media aritmética	Desviación estándar
Comercio al por mayor y al por menor, reparación de vehículos automotores y motocicletas	645	22,02%	1,75	1,85
Industrias manufactureras	490	16,73%	1,40	1,46
Construcción	261	8,91%	1,31	1,60
Actividades profesionales científicas y técnicas	208	7,10%	1,29	1,33
Actividades de servicios administrativos y de apoyo	154	5,26%	1,16	1,52
Transporte y almacenamiento	142	4,85%	1,80	2,17
Total de PYME en la localidad con matrícula activa 2018		**2.929**		

Fuente: Elaboración propia.

Como se puede apreciar, los resultados arrojados para la media aritmética para el indicador de estructura de capital, obtenido por las PYME de cada actividad económica abordada, según los resultados financieros del año 2017, presentan una dispersión que no supera 1,4 veces la media aritmética.

Los resultados arrojan una diferencia entre los resultados obtenidos por cada actividad económica, la cual se mueve en un rango de 0,64, siendo mayor la media aritmética, para este indicador, para las PYME que desarrollan actividad económica en Transporte y almacenamiento, seguida por Comercio al por mayor y al por menor reparación de vehículos automotores y motocicletas.

5.2. Indicador de margen de utilidad neta

Partiendo de la fórmula 2, se procedió a calcular el indicador de margen de utilidad neta para el total de PYME de cada actividad económica seleccionada previamente, según la información financiera suministrada por la Cámara de Comercio de Bogotá. Con la información del total de PYME por actividad económica, se obtuvieron los resultados estadísticos para la media aritmética y la desviación estándar de la media aritmética, que se relacionan en la Tabla 9.

Como se puede apreciar, los resultados arrojados para la media aritmética para el indicador de margen de utilidad neta, obtenido por las PYME de cada actividad económica abordada, según los resultados financieros del año 2017, presentan una dispersión que va entre 1,24 y 2,34 veces el valor absoluto de la media aritmética.

Los resultados arrojan una diferencia entre los resultados obtenidos por cada actividad económica, que se mueve en un rango de 0,06, siendo mayor la media aritmética, para este indicador, para las PYME que desarrollan actividad económica de Actividades profesionales científicas y técnicas, seguida por Construcción.

Tabla 9. Resultados media aritmética y desviación estándar - Indicador de margen de utilidad neta. Resultados año 2017.

Actividad económica	Total PYME	Participación sobre el total de PYME	Media aritmética	Desviación estándar
Comercio al por mayor y al por menor reparación de vehículos automotores y motocicletas	645	22,02%	0,05	0,12
Industrias manufactureras	490	16,73%	0,05	0,09
Construcción	261	8,91%	0,09	0,11
Actividades profesionales científicas y técnicas	208	7,10%	0,11	0,16
Actividades de servicios administrativos y de apoyo	154	5,26%	0,08	0,12
Transporte y almacenamiento	142	4,85%	0,06	0,12
Total de PYME en la localidad con matrícula activa 2018	**2.929**			

Fuente: Elaboración propia.

5.3. Coeficiente de correlación de Pearson

Calculados los indicadores financieros de estructura de capital (que sus datos provienen del estado de situación financiera) y margen de utilidad neta (que sus datos provienen del estado de resultados), para todas las PYME seleccionadas por actividad económica, se procedió a calcular el coeficiente de correlación de Pearson entre los dos indicadores. En el procedimiento se utilizó el programa SPSS versión 23. Los resultados se pueden apreciar en la Figura 2.

Como se evidencia, a excepción de las PYME que desarrollan la actividad económica de Transporte y almacenamiento, las PYME sujetas a esta investigación presentaron correlación inversa entre los resultados de los indicadores financieros de estructura de capital y margen deutilidad neta, con los resultados del año 2017.

6. Discusión

Analizada la información de los seis sectores que cumplen con los criterios de clasificación estipulados en la metodología, se identificó que, respecto a los resultados del indicador de estructura de capital, su media aritmética osciló ente 1,16 y 1,80, siendo para todas las actividades económicas, en promedio mayor la deuda con terceros (pasivos) frente a su estructura patrimonial. La desviación estándar sobre la media aritmética para las actividades económica analizadas, en todos los casos, presentó un mayor valor absoluto que el de la misma media aritmética, el cual estuvo entre el 4,41% y el 31,07% sobre el valor de la media aritmética. Aunque la desviación estándar fue mayor, este valor en ningún caso dobló el resultado de la media aritmética.

Respecto al indicador de margen de utilidad neta, el resultado de la media aritmética para cada actividad económica analizada estuvo entre 0,05 y 0,11, lo que representa que, en promedio, las empresas que desarrollan estas actividades económicas registraron utilidades que oscilaron entre el 5% y el 11% de sus ventas netas. La desviación estándar sobre la media aritmética para las actividades económica analizadas, en todos los casos, presentó un mayor valor absoluto que el de la misma media aritmética, entre el 22,22% y el 140% sobre la media aritmética. El resultado de este indicador presentó mayor dispersión que el indicador de estructura de capital.Al igual que en el caso anterior, la desviación estándar fue mayor, pero este valor en ningún caso dobló el resultado de la media aritmética registrada por actividad económica.

Figura 2. Resultados coeficiente de correlación de Pearson por actividad económica.

Correlations - Comercio al por mayor y al por menor reparación de vehículos automotores y motocicletas

Correlations

		Estructura_de_capital	Margen_de_utilidad_neta
Estructura_de_capital	Pearson Correlation	1	-,132**
	Sig. (2-tailed)		,001
	N	645	645
Margen_de_utilidad_neta	Pearson Correlation	-,132**	1
	Sig. (2-tailed)	,001	
	N	645	645

**. Correlation is significant at the 0.01 level (2-tailed).

Correlations - Industrias manufactureras

Correlations

		Estructura_de_capital	Margen_de_utilidad_neta
Estructura_de_capital	Pearson Correlation	1	-,136**
	Sig. (2-tailed)		,003
	N	490	490
Margen_de_utilidad_neta	Pearson Correlation	-,136**	1
	Sig. (2-tailed)	,003	
	N	490	490

**. Correlation is significant at the 0.01 level (2-tailed).

Correlations - Construcción

Correlations

		Estructura_de_capital	Margen_de_utilidad_neta
Estructura_de_capital	Pearson Correlation	1	-,159*
	Sig. (2-tailed)		,010
	N	261	261
Margen_de_utilidad_neta	Pearson Correlation	-,159*	1
	Sig. (2-tailed)	,010	
	N	261	261

*. Correlation is significant at the 0.05 level (2-tailed).

Correlations - Actividades profesionales científicas y

Correlations

		Estructura_de_capital	Margen_de_utilidad_neta
Estructura_de_capital	Pearson Correlation	1	-,172*
	Sig. (2-tailed)		,013
	N	208	208
Margen_de_utilidad_neta	Pearson Correlation	-,172*	1
	Sig. (2-tailed)	,013	
	N	208	208

*. Correlation is significant at the 0.05 level (2-tailed).

Correlations - Actividades de servicios administrativos

Correlations

		Estructura_de_capital	Margen_de_utilidad_neta
Estructura_de_capital	Pearson Correlation	1	-,132
	Sig. (2-tailed)		,103
	N	154	154
Margen_de_utilidad_neta	Pearson Correlation	-,132	1
	Sig. (2-tailed)	,103	
	N	154	154

Correlations - Transporte y almacenamiento

Correlations

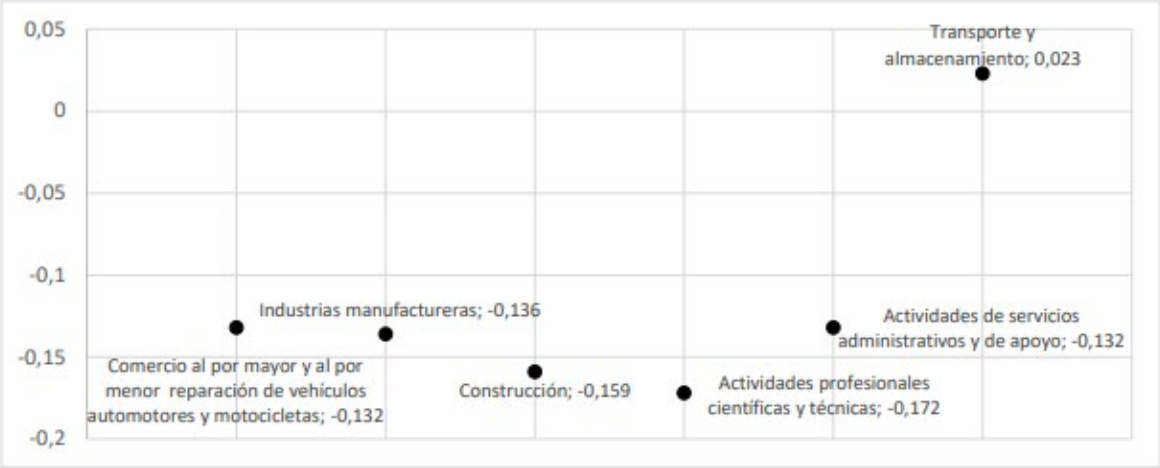
		Estructura_de_capital	Margen_de_utilidad_neta
Estructura_de_capital	Pearson Correlation	1	,023
	Sig. (2-tailed)		,782
	N	142	142
Margen_de_utilidad_neta	Pearson Correlation	,023	1
	Sig. (2-tailed)	,782	
	N	142	142

Fuente: Elaboración propia.

Al calcular el coeficiente de correlación de Pearson, para cada actividad económica, se identificó que, las actividades económicas de Comercio al por mayor y al por menor reparación de vehículos automotores y motocicletas, Industrias manufactureras, Construcción, Actividades personales científicas y técnicas, y Actividades de servicios administrativos y de apoyo presentaron una correlación lineal inversa, que estuvo entre -0,1320 y -0,1720.

La Figura 3 presenta de manera gráfica, y a modo de resumen, los resultados del coeficiente de correlación de Pearson entre el indicador financiero de estructura de capital y el indicador financiero de margen de utilidad neta, de las PYME analizadas, por actividad económica.

Figura 3. Resultados coeficiente de correlación de Pearson.



Fuente: Elaboración propia.

Las actividades económicas de Comercio al por mayor y al por menor reparación de vehículos automotores y motocicletas e Industrias manufactureras presentaron un nivel de significancia en el nivel 0,01 a dos colas. Como el p valor está por debajo de 0,01 este resultado representa un alto nivel de significancia.

Por su parte, las actividades económicas de Construcción y Actividades personales científicas y técnicas presentaron un nivel de significancia en el nivel 0,05 a dos colas. Debido a que el p valor está por debajo de 0,05 este resultado representa un nivel representativo de significancia, menor que el evidenciado en resultados de las empresas de las dos actividades anteriores, pero, aún así, representativo y confiable.

Aun con lo anterior, respecto a la intensidad o fuerza de la correlación para estas actividades económicas, se puede asegurar que es baja, pues cada resultado evidenciado se encuentra cerca al valor de 0, y en ningún caso superó el valor absoluto de 0,5.

Para el sector de Transporte y almacenamiento se evidenció una correlación lineal directa debido a que el resultado del coeficiente de correlación de Pearson presentó un valor positivo de 0,0230. Ese resultado, aunque positivo se encuentra muy cerca al 0 absoluto, por lo que en cuanto a la intensidad o fuerza de la correlación, ésta es no significativa.

Según lo relacionado en la revisión literaria, en cuanto a las teorías que se enfocan en el impacto de la estructura de financiación frente al valor de la empresa, y el impacto de la estructura de financiación frente a los costos de agencia y la participación en la propiedad, éstas procuraron estipular modelos que demostraran la existencia de una estructura de capital adecuada, óptima, ya sea de manera general, o de manera individual, acorde a las condiciones particulares de cada empresa. Aunque con visiones diferentes, es posible asegurar que el foco de los planteamientos teóricos estipulados por cada teoría estuvo siempre en el impacto de la estructura de capital de la empresa. Esta investigación empírica procuró identificar si existe una relación inversa y significativa, por actividad económica, entre la estructura de capital de la empresa y los resultados financieros que éstas lograron en un periodo determinado; resultados financieros analizados a través del indicador de margen de utilidad neta. Para la población abordada, los resultados indican, de manera particular, la existencia de una correlación lineal inversa (en la mayoría de los caos), pero no significativa (en todos los casos).

7. Conclusiones

Esta investigación tuvo como punto central determinar si existe o no una correlación inversa y significativa, entre el indicador financiero de estructura de capital de la empresa y el resultado del indicador financiero de margen de utilidad neta para las empresas, según la actividad económica que desarrollen, a través del cálculo del coeficiente de correlación de Pearson. Se trabajó con la información financiera de 1.900 PYME ubicadas en la localidad de Engativá, Bogotá-Colombia. Se analizaron los resultados financieros del año 2017. Con esta información se buscó dar respuesta a la pregunta: ¿se puede evidenciar una correlación inversa y significativa entre la estructura de capital de la empresa y el resultado del indicador de margende utilidad neta, según la actividad económica desarrollada, para un periodo determinado?

Los datos analizados, según la metodología de investigación planteada, indican que sí existe una correlación lineal inversa entre los dos indicadores analizados, por lo menos para cinco de las seis actividades económicas abordadas. Sin embargo, para todos los casos, la intensidad o fuerza de la correlación fue no significante, menor al valor absoluto de 0,5, siendo mayor la significancia registrada por los cinco sectores que arrojaron correlación lineal inversa.

Estos resultados validan lo hallado por Barrera et al. (2020) en cuanto a la frágil correlación lineal, sea directa o sea inversa, del análisis de resultados agregados de un grupo significativo de organizaciones, y dejan la siguiente pregunta: ¿se puede evidenciar una correlación inversa y significativa entre la estructura de capital de la empresa, según tamaño de empresa por ventas netas registradas, respecto al resultado financiero del ejercicio de un periodo determinado?

Referencias

Banco de la República de Colombia (2018). *Tasa de cambio del peso colombiano (TRM)*. Recuperado el 28 de agosto de 2018 de: http://www.banrep.gov.co/es/trm

Barrera, J. (2017). *Organizaciones y empresas. Relación, diferencias y clasificaciones*. Saarbrücken: Editorial Académica Española.

Barrera, J. (2019). Juntas de acción comunal y pequeñas y medianas empresas articulación para el desarrollo de actividades de responsabilidad social empresarial. *Tendencias, 20*(1), 53-76. https://doi.org/10.22267/rtend.192001.107

Barrera, J., Parada, S., & Serrano, L. (2020). Análisis empírico de correlación entre el indicador de estructura de capital y el indicador de margen de utilidad neta en PYMEs. *Revista de Métodos Cuantitativos para la Economía y la Empresa, 29*, 99-115. https://doi.org/10.46661/revmetodoscuanteconempresa.3520

Córdoba, M. (2014). *Análisis financiero*. Bogotá: Ecoe Ediciones.

Decreto 619 de julio 28 de 2000, Por el cual se adopta el Plan de Ordenamiento Territorial para Santa Fe de Bogotá, Distrito Capital. Registro Distrital No. 2.197 del 28 de julio de 2000. Bogotá, 28 de julio de 2000.

Donaldson, G. (1961). *Corporate Debt Capacity: A Study of Corporate Debt Policy and the Determination of Corporate Debt Capacity*. Boston: Graduate School of Business Administration, Harvard University.

Fernandez, J. (2014). *Teoría y práctica de la contabilidad* (3ª. ed.). Madrid: Ediciones Pirámide.

Gitman, L., & Zutter, C. (2016). *Principio de administración financiera* (14ª. ed.). Ciudad de México: Pearson.

Herrera, T., De la Hoz, E., & Vergara, J. (2012). Aplicación de análisis discriminante para evaluar el mejoramiento de los indicadores financieros en las empresas del sector alimento de Barranquilla-Colombia. Ingeniare. *Revista chilena de ingeniería, 20*(3), 320-330.

Ley 590 de 2000 del 10 de Julio de 2000, por la cual se dictan disposiciones para promover el desarrollo de las micro, pequeñas y medianas empresa. Diario Oficial No.44.078 de julio 12 de 2000. Bogotá, 12 de julio de 2000.

Ley 905 de 2004 del 2 de agosto de 2004, por medio de la cual se modifica la Ley 590 de 2000 sobre promoción del desarrollo de la micro, pequeña y mediana empresa colombiana y se dictan otras disposiciones. DiarioOficial No. 45.628 de 2 de agosto de 2004. Bogotá, 2 de agosto de 2004.

Ley 1151 de 2007 del 24 Julio de 2007, por la cual se expide el Plan Nacional de Desarrollo 2006 - 2010. Diario Oficial No. 46.700 de julio 25 de 2007. Bogotá, 25 de julio de 2007.

Ley 1450 de 2011 del 16 de junio de 2011, por la cual se expide el Plan Nacional de Desarrollo, 2010-2014. Diario Oficial No. 48.102de 16 de junio de 2011. Bogotá, 16 de junio de 2011.

Massad, C. (2007). *Economía para todos*. Santiago de Chile: Editorial e Imprenta Maval LTDA.

Modigliani, F., & Miller, M. (1958). The cost of capital, corporation finance and the theory of investment. *The American Economic Review, 48*(3), 261-297.

Modigliani, F., & Miller, M. (1963). Corporate income taxes and the cost of capital. A correction. *The American Economic Review, 53*(3), 433-443.

Myers, S. (1977). Determinants of corporate borrowing. *Journal of Financial Economics, 5*, 147-175.

Myers, S. (1984). The capital structure puzzle. *The Journal of Finance, 39*(3), 575-591.

Myers, S., & Majluf, N. (1984). Corporate financing and investment decisions whenfirms have information that investors do not have. *Journal of Financial Economics,13*(2), 187-221.

Peña-Barrera, CR. (2010). Índice de Urbanización Municipal: una aplicación a Bogotá y su teórica "área metropolitana". *Territorios, 23*, 33-57.

Pesce, G., Esandi, J., Briozzo, A., & Vigier, H. (2015). Decisiones de financiamiento en pymes: particularidades derivadas del entrelazamiento empresa-propietario. *REGE Revista de Gestão, 22*(3), 357-380.

Resolución 066 del 31 de enero de 2012, por la cual se establece la Clasificación de Actividades Económicas - CIIU Rev. 4 A.C. Bogotá, 31 de enero de 2012.

Ross, S., Westerfield, R., & Jordan, B. (2014). *Fundamentos de finanzas corporativas*. Décima edición. México D.F.: McGraw Hill.

Secretaría de Planeación Distrital (2011). *21 monografías de las localidades distrito capital 2011*. Diagnóstico de los aspectos físicos, demográficos y socioeconómicos 2011localidad 10 Engativá. Bogotá: Alcaldía Mayor de Bogotá.

REVISTA DE MÉTODOS CUANTITATIVOS PARA LA ECONOMÍA Y LA EMPRESA (33). Páginas 134-153.
Junio de 2022. ISSN: 1886-516X. D.L: SE-2927-06.
www.upo.es/revistas/index.php/RevMetCuant/article/view/4473

What are the main factors driving behind the MENA countries current account deficit? A panel logit approach analysis

GUELLIL, MOHAMMED SEGHIR
University of Mascara (Algeria)
Correo electrónico: guellil.poldeva@gmail.com

SARI-HASSOUN, SALAH EDDINE
University of Maghnia (Algeria)
Correo electrónico: salah.poldeva08@gmail.com

CHICA-OLMO, JORGE
University of Granada (Spain)
Correo electrónico: jchica@ugr.es

SARAÇ, MEHMET
Istanbul University (Turkey)
Correo electrónico: mehmet.sarac@istanbul.edu.tr

ABSTRACT

The sustained current account deficit in any country has an important implication for policy. If it continues, then it suggests that the regime ought to have no motivation to avoid or to diminish its international debt. In this paper, we test empirically the relationship among current account deficit and different macroeconomic variables by using panel Logit model. Therefore, we focus on the MENA countries during the years of 1980-2017. We built an econometric model to analyse the contribution of the real GDP, unemployment rate (UR), consumer price index (CPI), export growth rate (EGR), import growth rate (IGR), public expenditures (PE), and foreign trade rate (FTR) on current account deficit (CAD). We established that only the following exogenous variables: GDP, UR, PE and FTR have a positive and significant effect on the current account deficit. This outcome may support governments to identify the best time for investment and business strategies by observing the evolution of the performance of higher temporal hierarchy industries.

Keywords: current account deficit, panel Logit model, MENA countries, macroeconomic variables.
JEL classification: C13; C23; C51; C52; C55; C58; G17; G18; G28.
MSC2010: 91G70; 62P20; 91G80; 70G99; 47N30.

Artículo recibido el 10 de diciembre de 2019 y aceptado el 13 de septiembre de 2021.

¿Cuáles son los principales factores que impulsan el déficit de cuenta corriente de los países MENA? Un análisis de enfoque de panel Logit

RESUMEN

El déficit sostenido de la cuenta corriente en cualquier país tiene una implicación importante para la política. Si continúa, sugiere que el régimen no debería tener motivación para evitar o disminuir su deuda internacional. En este artículo, probamos empíricamente la relación entre el déficit de cuenta corriente y las diferentes variables macroeconómicas mediante el modelo de panel Logit. Por lo tanto, nos centramos en los países MENA durante los años 1980-2017. Construimos un modelo econométrico para analizar la contribución del PIB real, la tasa de desempleo (UR), el índice de precios al consumidor (IPC), la tasa de crecimiento de las exportaciones (EGR), la tasa de crecimiento de las importaciones (IGR), el gasto público (PE) y la tasa de comercio exterior (FTR) sobre el déficit de cuenta corriente (CAD). Establecimos que solo las siguientes variables exógenas: PIB, UR, PE y FTR, tienen un efecto positivo y significativo en el déficit de cuenta corriente. Este resultado puede ayudar a los gobiernos a identificar el mejor momento para las estrategias de inversión y negocios al observar la evolución del desempeño de las industrias de mayor jerarquía temporal.

Palabras clave: déficit por cuenta corriente, modelo Logit de panel, países MENA, variables macroeconómicas.
Clasificación JEL: C13; C23; C51; C52; C55; C58; G17; G18; G28.
MSC2010: 91G70; 62P20; 91G80; 70G99; 47N30.

1. Introduction

In last decade, the most discussed issue in financial macroeconomic is the current account (CA) balance. The financial crisis (FC) and the increase in CAD are among the most serious problems in many developing countries. That is because large and obstinate CAD may result in economic and currency crises, growing external debt and drop in international reserves (Eita et al., 2018). Huge CAD sometimes increase concerns about the sustainability of such deficits and raise enquiries about their immoderateness, possible consequence and alterations that may outcome from such disparities.

Numerous nations encountered frequent FC and CAD since 90s, and they have become a great issue for several nations due to the globalization and the openness in the world. The globalization process was one of the main factors that increased the international trade and the mobility of the capital, leading to ample the current account deficits. This broader openness is not only seen as a curse but it is considered as a boon for certain countries as well. According to Eichengreen et al. (1994, p.1), big changes in exchange rates, interest rates and international reserves are all indicators of a crises and they suggest judgment about different macroeconomic variables performance during and after crisis. Furthermore, Kaminsky et al. (1998, p.23) state that monitoring of numerous variables may tend to indicate unusual behaviour that may provide identification of a financial crises prior to its outbreak. Milesi-Ferreti and Razin (1996) define a CA position as unsustainable if the persistence of the present rule stance and/or the private sector performance entails the need of a drastic policy shift or leads to a crisis

However, the MENA countries suffered a lot from this aspect and huge CAD become problematic, especially when they affect negatively the economic growth and the social expansion. Additionally, in the last few decades, there are many emerging countries, especially Next11 countries, which have bumped into the problem of CAD. Calderon et al. (2000) indicate that the CAD in developing countries is moderately persistent, and an upsurge in domestic output growth generates a larger CAD. The MENA area financial issue is frequently connected to the CA imbalances emergence. When capital inflows decreased, the deficit countries started to suffer a deep adjustment process which is accompanied by harsh negative repercussions on the real economy and also on the banking system. Consequently, identifying the deeper causes of the CA imbalances that carried to the crisis has been high on the policy agenda. Therefore, such nations ought to respect the economic policy that aimed at introducing the early warning systems (EWS), which it will support recognizing the financial weaknesses and help several policymakers in checking whether a country may be affecting by a potential crisis.

Until the setting off the crisis, CAD was caught sight of as the result of a welcome picking up process of lower-income countries (Blanchard & Giavazzi, 2002; Campa & Gavilan, 2011; Schmitz & von Hagen, 2011). These scholars' identified two main causes of this crisis, the competitiveness and the fiscal unsteadiness (Arghyrou & Chortareas, 2008; Belke & Dreger, 2013; Schnabl & Wollmershauser, 2013; Zemanek et al., 2010). More latterly, the attention has switched to domestic demand and financial factors as the main operators of CA imbalances.

Many factors represent an important part in affecting a country's CA balance; yet, not all of them are same, but the aspects can be different relying on several contexts. Some are being from macroeconomic fundamentals and other are represented as external factors. It is important to identify the properties of these several factors on the CA balance, and it is compulsory to communicate and to adjust the appropriate policy responses. In addition, almost all Arab countries have no economy diversification and they are still relaying mainly on natural resources, especially the oil exporting (Chekouri, Chibi & Benbouziane, 2017). Such dependence means that those countries are suffering from Dutch Disease Theory (Corden, 1984; Corden & Neary, 1982; Neary & van Wijnbergen, 1986; van Wijnbergen, 1984).The economist magazine coined the term in 1977 to describe the decline of the manufacturing sector in the Netherlands after the discovery of large reserves of natural gas in the North Sea. The Dutch Disease adversely affects economic growth through two main effects: the spending effect and the resource movement effect. Together, these effects result in an appreciation of a country's

real exchange rate, and a fall in the output of the manufacturing sector. The shrinkage of this sector caused by the Dutch Disease can lead to the decline in growth (Sachs & Warner, 1997). Thus, these Arab countries will have an issue with their CA balance when the price of oil and natural gas fall and they cannot depend on other source to cover the deficit.

We shall base on analysing the prospective factors that could increase the probability of CA crises. In this regard, we selected the period of 1980-2017 to observe the properties of recent global crises. We investigated the trajectories of macroeconomic variables in MENA countries to indicate whether the crisis share a common macroeconomic background. For this reason, we examined the contribution of several macroeconomic variables such as real GDP, unemployment rate, consumer price index, export growth rate, import growth rate, public expenditures and foreign trade rate on CAD. And, we defined the main macroeconomic variables driving behind the MENA countries CAD.

The current work is divided into 5 sections. Section 1 demonstrates the introduction of CA problem. Section 2 shows the theoretical framework and main empirical works constructed on two major approaches: the parametric (regression) approach and the non-parametric (signals) approach. Section 3 presents different variables and the specified methodology employed. Section 4 reports the findings from the empirical results analyses. Finally, conclusions are presented in Section 5.

2. Literature review

Various technics have employed to reveal risks to help identify different crisis in the literature (currency, banking, fiscal, monetary…). However, the two most approaches often utilized are the non-parametric (signals) approach and the parametric (regression) approach based on Probit or Logit models. Berti et al. (2012) state that the parametric (regression) approach is constituted of a panel models construing the influences of independent variables on the crisis probability. The endogenous variable can be a binary variable that assumes value of 1 if a crisis outbreaks and 0 otherwise. A non-parametric (signals) approach employs a wholly different method founded on signals instead of resuming the chance of crises in one number between 0 and 1. A variable can be treated sending a warning signal if it goes further than a certain threshold level (Bucevska, 2011). The signals approach was forwarded by Kaminsky, Lizondo and Reinhart (1998). Also, some scholars conducted different in this way (Borio & Lowe, 2002).

Different investigation relied on the parametric regression concerning to different types of crisis. Eichengreen et al. (1996) were amongst the first to employ a Probit model for the prediction of the currency crisis. They established that proven occurrences on fixed exchange rates have a significant influence on the occurrence of currency crises.

Sachs et al. (1997) identified some macroeconomic variables that demonstrate which countries were more sensitive to contagion effects, following the Mexican crisis in 1994. They selected the useful factors that turned out to be meaningful in the prediction of FC using Logit/Probit models.

Lestano et al. (2003) conducted a panel Logit approach for six Asian countries over the period of 1970-2001. They obtained various results for the monetary, banking and debt crisis.

Gerni et al. (2005) investigated with panel Logit method FC in Turkey over the monthly period of 1990-2004. They found that the two crises of 1994 and 2001 experienced in Turkey divulge parallel outcomes, as well as dissimilar consequences for the macroeconomic factors. They found that the interest rates and the industrial production index have a significant sign three months before the crises representative that the sequence of the economy actually begins to deteriorate.

Kahraman et al. (2009) examined the economic crisis in 15 developing countries with the panel data analysis during the period of 1987-2007. They concluded that the CAD and reserve ratios could be pioneering indicators for the prediction of crisis.

Barell et al. (2010) inspected different macroeconomic variables with panel Logit model. They established that CAD has a major positive effect on the probability of a crisis.

Singh (2011) conducted a paper about financial crisis in India between the periods of March 2000 to November 2009. He employed the methodology of ordered Probit model and he indicated that the stock price index and import contribute positively and significantly to the endogenous variable, suggesting high probability of fragility in the banking sector; while the export had a negative and significant influence, but it also rises the chance of fragility in the banking sector.

Bucevska (2011) investigated different indicators that can outbreak of the recent FC in three EU candidate countries (Croatia, Macedonia and Turkey) in the period of 2005 and 2009 by using binomial Logit model. As result, the top three early warning indicators of a financial crisis for these three EU candidate countries are gross external debt relative to export, the domestic loans and the bank deposits in relation to GDP. Additionally, the four highly significant determinants of FC are the overvaluation of the REER, CAD, the fiscal deficit and the capital flight.

Ganioglu (2013) compared the reflections of FC on 26 developed and 24 developing countries during the period 1970-2008 with using panel Logit estimation technique. She evaluated the macroeconomic variables that increase the chance of the FC and she concluded that CAD and the credit expansion together with monetary expansion stimulate the probability of FC.

Comelli (2013) investigated the assessment of currency crisis forecast in emerging market economies with three parametric and non-parametric in 29 EWS during the period 1995-2012. As result, the real GDP growth, the ratio between foreign exchange reserves, short-term external debt, the growth rate in the stock of foreign exchange reserves, and the CA balance have a negative and significant effect related with the probability of a crisis.

Kabadayi and Celik (2015) employed the ordered Probit and Logit in order to study the qualitative macroeconomic variables. They indicated that the CAD, external debts, per capita GDP, real exchange rates, inflations, and savings rates have a huge effect on sovereign ratings.

Cavdar and Aydin (2015a) employed panel logit model to study the different macroeconomic variables and the current account deficit in 16 OECD member countries during the period of 2005-2009. They established that the public expenditure has a positive and significant effect on the current account deficit; however, they found that the consumer price index and unemployment rate contribute negatively and significantly to the current account deficit.

Cavdar and Aydin (2015b) conducted the same study, but they focussed on the period of 2005-2014 in order to concentrate on the pre-crisis and post-crisis period. They confirmed their previous result with dissimilar coefficients, therefore the public expenditure has a positive and significant effect on the current account deficit, but the consumer price index and unemployment rate have a negative and statistically accepted sign on the current account deficit.

Özdamar (2016) concluded with ARDL model that the foreign trade balance and GDP have a positive and significant contribution to the current account balance in Turkey.

Al-Jundi and Guellil (2018) aim to work out the exact pattern of causality between economic growth rate and each of investment categories in the United Arab Emirates. They demonstrate long-term effects of the investment shares in non-oil gross domestic product on economic growth using cointegration and granger causality tests on time series data. The findings indicate unidirectional causality from private investment to non-oil GDP growth rate, from business investment to non-oil GDP growth rate, and from public investment to government investment.

Gumusoglu and Alcin (2019) examined the contribution of the capital flows on current account deficit in Turkey by employing quarterly data for the time period 1998-2015. They used the procedure

of VAR and they found that the capital flows has a significant and positive effect on current account deficit, while the foreign direct investment has negative and insignificant impact.

3. Data and methodology

All data used in this study are annual observations covering the period from 1980 to 2017 and are obtained from two sources. The variables employed in this study are presented in the following table.

Table 1. Variables definition.

Variable	Abbreviation	Definition
Dependent Variable		
Current Account Deficit	CAD	Current Account Deficit / Real GDP
Explanatory Variables		
Real GDP	GDP	Measure of the value of economic output adjusted for price changes.
Consumer Price Index	CPI	A statistical estimate constructed using the prices of a sample of representative items whose prices are collected periodically.
Unemployment Rate	UR	A percentage found by dividing the number of unemployed individuals by all individuals currently in the labor force.
Export Growth Rate	EGR	The amount by which the value of an economy's exports grows over a period of time.
Import Growth Rate	IGR	The amount by which the value of an economy's imports grows over a period of time.
Public Expenditure	PE	The spending made by the government of a country.
Foreign Trade Rate	FTR	Rate of foreign trade between countries.

Source: Own elaboration.

The empirical data corresponding to these variables are collected from the International Financial Statistics Database of International Monetary Fund (IMF), and the World Development Indicators Database of World Bank (WB). Our database includes MENA countries. We classify all countries into one heterogeneous panel only to examine if there are any structural differences.

When studying the connection between Quantitative explanatory variables and Qualitative dependent variables relied on panel data, the choice of the suitable methodology is an important theoretical and empirical issue. Panel Logit/Probit approach is the most appropriate technique to study this type of relationship between the explanatory variables such as: real GDP, UR, CPI, EGR, IGR, PE, FTR and CAD. The empirical strategy employed in this paper can be divided into five principal steps. First, we shall make the data statistical analysis to choose between the two models (Logit or Probit) with normality test. Then, the confirmation whether Logit or Probit model is accepted. Next, we will carry out residual and diagnostic analysis. After, we shall make Expectation-Prediction Evaluation for Binary Specification. Finally, we will proceed to Goodness-of-Fit Evaluation for Binary Specification test.

In this paper, we adopted a model and approach studies by Cavdar and Aydin (2015a, 2015b) Lestano and Kuper (2003) and Demirguç-Kunt and Detragiache (1998). These papers examined the link amongst CAD and some other macroeconomic variables in order to analysis whether this factors have a significant impact on the occurrence of CAD or not, which in turn may increase or decrease the probability of one or more types of FC simultaneously.

We estimated the probability of a CAD using a binary panel logit model, which was developed by Demirguc-Kunt and Detragiache (1998). The dependent variable takes the value of 0 in the case whether there is CAD (crisis) or 1 if there is no crisis in that period. The probability that a crisis appears

at a particular time in a particular country is assumed to be a function of n country specific (i) explanatory variables X (i, t) from 1980 to 2017 (t).

Allison (2009) notes that in the binary panel data (a binary dependent variable), we should use the conditional logit/fixed effects logit models. The fixed effects estimates use only within-individual differences. Long and Freese (2005) show how conditional logit models can be used for alternative specify data.

Breslow and Day (1980), Collett (2003), and Hosmer et al. (2013) provide a biostatistical point of view on conditional logistic regression. Hamerle and Ronning (1995) give a succinct and lucid review of fixed-effects logit. Chamberlain (1980) is a standard reference for this model. Greene (2012) provides a straightforward textbook description of conditional logistic regression from an economist's point of view, as well as a brief description of choice models. These scholars state that the conditional logistic analysis differs from regular logistic regression in that the data are grouped and the likelihood is calculated relative to each group (a conditional likelihood).

Magdalena (2010) displayed that in terms of interpreting the coefficients in binary model and logistic regression, we should use the odds ratio. Also, she defines that the odds ratio is used asymmetrically to infer causality by comparing the occurrence of some outcome (variable X) in the presence of some exposure (variable Y), with the occurrence of the outcome (variable X) in the absence of a particular exposure (absence of variable Y).

Most scholars have said that in most cases, fixed effects make the regression more robust. However, with the conditional fixed-effect logit, we have two main issues; the first one is that there is a multiple positive outcomes within groups encountered, meaning that we have at least 2 matching groups (k_{1i}; k_{2i}) with $k_{1i} > 1$ for at least one group and there is an error in the data somewhere. The second thing is that we cannot get predicted probabilities, so in this case, we need to estimate the logistic regression to display the classification table and goodness-of-fit.

We did not use the intercept (constant) term, so there is no need of McFadden (1974) coefficient (the pseudo R^2) in the estimation of the logistic regression.

4. Empirical results

4.1. Model diagnostics

We have 13 countries (N=13) and 38 years (T=38) in this study, we may ignore the cross-sectional dependence (Breusch-Pagan, 1980; Pesaran, 2004), because the cross-section dimension (N) is not large. Thus, there is no evidence of cross-sectional dependence or uncounted for residual dependence. To investigate the normality distribution or not of the series used, we use some normality tests on the set of variables. The results of these tests are presented in the following tables.

Table 2. Descriptive statistics.

	CAD	CPI	EGR	FTR	LNGDP	IGR	LNPE	UR
Mean	0.4716	70.0011	5.1462	77.5252	24.5329	4.6455	22.825	10.282
Median	0	70.8623	3.8070	70.7639	24.4318	3.800	22.707	9.9850
Maximum	1	337.104	337.900	251.138	27.5803	155.500	26.007	31.840
Minimum	0	0.00172	-77.700	13.8000	21.8391	-60.400	19.807	0.6200
Std. Dev.	0.4997	43.7237	23.2704	38.0261	1.2859	17.005	1.230	6.3595
Skewness	0.1135	1.22966	7.4424	1.23484	0.2050	1.9244	0.279	0.4222
Kurtosis	1.0128	8.34073	101.382	5.1104	2.577	20.445	2.591	2.6848
Jarque-Bera	82.336	711.600	203788.2	217.221	7.1434	6569.43	9.847	16.725
Probability	0	0	0	0	0.028	0.	0.007	0.0002

Source: Done on Eviews 10.

Table 3. Univariate normality tests.

	Skewness/Kurtosis joint test Prob of χ^2	Prob of Shapiro-Wilk test	Prob of Shapiro-Francia test
CAD	…	1	1
CPI	0	0	0
EGR	0	0	0
FTR	0	0	0
LNGDP	0.015	0.0005	0.0024
IGR	0	0	0
LNPE	0.0057	0.0001	0.0006
UR	0.0007	0	0

Source: Done on Stata 15.1.

Table 4. Bivariate normality test of Doornik-Hansen.

Pair of variables		χ^2	Prob of χ^2
CAD	**LNGDP**	599.18	0
	CPI	674.88	0
	UR	448.62	0
	EGR	3675.74	0
	IGR	900.74	0
	LNPE	646.69	0
	FTR	626.83	0
LNGDP	**CPI**	106.68	0
	UR	44.46	0
	EGR	2952.92	0

	IGR	318.34	0
	LNPE	80.55	0
	FTR	120.81	0
CPI	**UR**	121.68	0
	EGR	3082.23	0
	IGR	400	0
	LNPE	109.96	0
	FTR	250.20	0
UR	**EGR**	2993.25	0
	IGR	334.61	0
	LNPE	47.85	0
	FTR	197.75	0
EGR	**IGR**	3355.55	0
	LNPE	2977.65	0
	FTR	3088.73	0
IGR	**LNPE**	326.49	0
	FTR	452.79	0
LNPE	**FTR**	139.35	0

Source: Done on Stata 15.1.

Table 5. The multivariate normality tests.

Tests	χ^2	**Prob of χ^2**
Mardia with Kurtosis	8038.285	0
Mardia with Skewness	28553.551	0
Henze-Zirkler	7802.311	0
Doornik-Hansen	4041.683	0

Source: Done on Stata 15.1.

Table 6. The generalized linear models estimation.

Models / **Variables**	**Probit**	**Logit**
C	-4.6925*** (0.0038)	-7.3927*** (0.005)
LNGDP	0.5152*** (0.0028)	0.8371*** (0.0036)
CPI	-0.0002 (0.8782)	-0.0003 (0.8970)
UR	-0.0291** (0.0105)	-0.0492** (0.0103)
EGR	0.0002 (0.9168)	0.0004 (0.9157)

IGR	0.0002 (0.5179)	0.0042 (0.5001)
LNPE	-0.3539** (0.0332)	-0.6003** (0.0352)
FTR	0.0074*** (0.0014)	0.0118*** (0.0019)
LR statistic	42.237***	42.2953 ***
Prob	0	0
Akaike info criterion	1.3975	1.3974
Schwarz criterion	1.4656	1.4654
Hannan-Quinn criterion	1.4242	1.4241
Log likelihood	-337.1946	-337.1675

Source: Done on Eviews 10.

The statistics table (Table 2) shows us that all variables used in this paper followed a non-normality distribution, because according to the Bera test (Bera et al., 1984) test, we rejected the null hypothesis of a normal distribution.

Then, we confirmed this outcome with the joint test of Skewness/Kurtosis which was established by Mardia (1970), Shapiro and Wilk (1965) and Shapiro and Francia (1972), presented in Table 3. The three test show that almost all variables follow a non-normal distribution. Also, Table 4 presents the normality distribution test of Doornick-Hansen (2008), which indicates with this two tests on univariate and multivariate dimension that we cannot accept the null hypothesis of normality distribution. And then we confirmed these results with the multivariate tests of Mardia (1970), Doornick-Hansen and Hansen (2008) and Zirkler (1989) (Table 5).

Therefore, these findings approve that we cannot employ the Probit binary panel model, rather we shall apply the Logit binary panel model. McCullagh and Nelder (1972) describe such qualitative panel model as a class of Generalized Linear Models (GLMs), because it deals with linear regression that allows the non-normal stochastic and non-linear systematic components. Also, GLMs include different linear regression, logistic analysis, and Poisson models. McCullagh (1992) shows the importance to compute the linear Probit/Logit models with the maximum likelihood estimation. Besides, to approve our selection of Logit model, we estimated both Logit/Probit model as showed in table 06, and we found that the Logit model has the minimum coefficient of Akaike (1973), Schwarz (1978) and Hannan-Quinn (1979) criteria, and also it has the greater number of the maximized value of the log likelihood.

Moreover, the binary panel models like Logit/Probit in panel data are considered as standard nonlinear, therefore, we can estimate them with pooled, fixed effects, random effects or population-average model and it is same model as in cross-section case, with adjustment for correlation over time for a given individual. However, we should specify the fixed or the random effects in the binary panel model; thus, we use the Hausman (1978) test to compare with the conditional fixed-effects logistic regression and random-effects logistic regression, the results of the test are presented in Tables 7, 8 and 9.

Table 7. Conditional fixed-effects logistic regression.

	Coefficient	z-statistic	Prob of z	Confidence interval at 95%	
LNGDP	5.0118***	7.31	0	3.6676	6.3559
CPI	-0.0016	-0.42	0.676	-0.0093	0.0060
UR	-0.0674*	-1.67	0.095	-0.1467	0.0117
EGR	0.0016	0.39	0.697	-0.0068	0.0102
IGR	-0.0002	-0.04	0.969	-0.0138	0.0132
LNPE	-5.1810***	-7.41	0	-6.5513	-3.8106
FTR	0.0536***	5.85	0	0.0356	0.0716
Log likelihood		-186.9415			
LR χ^2 (7)		115.53***			
Prob of χ^2		0			
AIC		387.8831			
Bayesian information criterion (BIC)		417.3008			

Source: Done on Stata 15.1.

Table 8. Random-effects logistic regression.

	Coefficient	z-statistic	Prob of z	Confidence interval at 95%	
LNGDP	4.4413***	7.03	0	3.4441	6.1054
CPI	-0.0024	-0.63	0.676	-0.0099	0.0050
UR	-0.0594	-1.52	0.128	-0.1359	0.0170
EGR	0.0016	0.36	0.718	-0.0074	0.0108
IGR	-0.0008	0.12	0.903	-0.0131	0.0148
LNPE	-4.8175***	-6.89	0	-6.1887	-3.4472
FTR	0.0492***	5.50	0	0.0316	0.0667
Intercept	-10.2722*	-1.79	0.073	-21.5162	0.9717
Log likelihood		-239.0504			
Wald χ^2 (7)		60.58***			
Prob of χ^2		0			
AIC		496.1008			
BIC		533.9236			

(.) Denote the probability of the Z-statistic which represent the Wald Chi-square; and *, **, *** mean that we cannot reject the alternative hypothesis and the coefficient estimated is significant at the level of 10%, 5% and 1%.

Source: Done on Stata 15.1.

Table 9. Hausman conditional fixed and random effects testing.

Test summary	χ^2	Prob of χ^2
Coefficient	72.79***	0

***, indicates that we reject the null hypothesis; rather we accept the alternative hypothesis at the level of 1%, so the panel model should be estimated with fixed-effect.

Source: Done on Stata 15.1.

We established that we cannot reject the alternative hypothesis and we accept the conditional fixed-effects logistic regression in this study. Also, we confirmed this findings with the log likelihood coefficient and both (AIC) and Bayesian information criterion (BIC) developed by Schwarz (1978) and Akaike (1977).

After some of iterations done with the conditional fixed-effects logistic regression (all possible regressions, and after removing non-significant variables), we find that the best significant explanatory variables used in the model are presented in Table 10.

Table 10. Conditional fixed-effects logistic regression.

	Coefficient	z-statistic	Prob of z	Confidence interval at 95%	
LNGDP	4.9359***	7.41	0	3.6294	6.2423
UR	-0.0695*	-1.73	0.083	-0.1482	0.0091
LNPE	-5.1747***	-7.43	0	-6.5401	-3.8094
FTR	0.053***	6.14	0	0.0361	0.06995
Log likelihood		-187.0993			
LR χ^2 (7)		115.22***			
Prob of χ^2		0			
AIC		382.1987			
BIC		399.0088			

Source: Done on Stata 15.1.

Having established model diagnostics, in the next step we proceed to the model interpretation.

4.2. Model interpretation

4.2.1. The logistic regression with odds ratio

After confirmation of the fixed effects specificity in the Logit panel model, must be followed by the estimation this relationship. The results of Logistic regression with odds ratio are presented in Table 11.

The likelihood ratio chi-square (4) of 26.81 with a p-value of 0 indicates that we reject the null hypothesis; rather we accept the alternative hypothesis, so the overall model is well specified and it can be employed in forecasting studies.

Table 11. Logistic regression with odds ratio.

	Odds Ratio	z-statistic	Prob of z	Confidence interval at 95%	
LNGDP	1.6470**	2.06	0.04	1.0241	2.6489
UR	0.9433***	-3.67	0	0.9144	0.9732
LNPE	0.5864**	-2.04	0.042	0.3507	0.9804
FTR	1.0055**	2.16	0.031	1.0005	1.0107
Log likelihood		-327.4621			
Wald χ^2 (7)		26.81***			
Prob of χ^2		0			
AIC		662.9242			
BIC		679.7343			

Source: Done on Stata 15.1.

We found that the iteration log, indicating how quickly the model converged. The log likelihood of -327.4621 can be employed in comparisons of other models or nested models.

McFadden R^2 is the likelihood ratio index and it is an analog to the R^2 reported in linear regression models, but we do not use the intercept term, so there is no need of pseudo R^2.

Z-statistic is the rate significance of estimated coefficients; it does not follow the student distribution, but a logistic distribution indicated by Wald Chi-square.

In the reading result, we shall transform the coefficients and interpret them as odds-ratio. The odds ratio for LNGDP is 1.647 and statistically accepted at the level of 5%, suggesting that these MENA countries if they decided to increase their economic growth, their odds of being in CAD would be multiplied by 1.647. Therefore, such country should make a wise decision and strategic plan to earn more stable financial situation. The odds ratio for UR is 0.9433 and significantly at the level of 1%, showing that the unemployment people in these nations increase the CAD by 0.9433. The odds ratio for public expenditure is 0.5864 and statistically accepted at the level of 5%, so it multiplies the CAD by 0.5864, indicating that the government spending is not used in efficient way.

The odds ratio for foreign trade rate is 1.0055 and significantly at the level of 5%, so it participates to surge the CAD by 1.0055, confirming the Harberger-Laursen-Metzler (HLM) hypothesis. This theory is proposed by Harberger (1950) and Laursen and Metzler (1950) which indicates that the terms of FTR deterioration will cause a decrease in savings and a negative influence on the CA. This is due to the decrease in real income, which will cause an increase in real expenditure (in order to maintain a standard of living). In another word, the adverse transitory terms of trade shocks produce a decline in current income that is greater than that in permanent income. Hence, a decline in savings follows and, thus, deterioration in the CA position ensues.

We cannot use the predicted probabilities to help us to understand the model, because there is no binary variable, except the dependent variable.

4.2.2. The predicted probabilities analysis

Table 12 shows results of calculating predicted probabilities, this step is to help a better understanding the model.

Table 12. The predicted probabilities.

LNGDP	Margin	z-stat	Prob	CI at 95%		UR	Margin	z-stat	Prob	CI at 95%	
21	0.1655*	1.88	0.06	-0.0067	0.3378	**0.5**	0.6119***	14.59	0	0.5297	0.6941
22	0.2342***	2.91	0.004	0.0765	0.3919	**5**	0.5492***	18.83	0	0.4920	0.6063
23	0.3190***	5.35	0	0.2021	0.4360	**9.5**	0.4848***	21.42	0	0.4404	0.5292
24	0.4169***	14.15	0	0.3592	0.4747	**14**	0.4209***	14.5	0	0.3640	0.4778
25	0.5220***	18.81	0	0.4676	0.5764	**18.5**	0.3596***	8.75	0	0.2791	0.4401
26	0.6262***	10.06	0	0.5042	0.7483	**23**	0.3025***	5.79	0	0.2002	0.4048
27	0.7217***	8.00	0	0.5450	0.8985	**28.5**	0.2508***	4.17	0	0.1329	0.3688
28	0.8024***	7.78	0	0.6001	1.0046	**32**	0.2054***	3.19	0	0.0791	0.3316
LNPE	**Margin**	**z-stat**	**Prob**	**CI at 95%**		**FTR**	**Margin**	**z-stat**	**Prob**	**CI at 95%**	
20	0.7808***	7.45	0	0.5755	0.9861	**10**	0.3867***	9.02	0	0.3027	0.4708
21	0.6855***	8.24	0	0.5225	0.8485	**45**	0.4322***	15.41	0	0.3772	0.4872
22	0.5735***	12.88	0	0.4862	0.6607	**80**	0.4787***	21.35	0	0.4348	0.5227
23	0.4544***	19.53	0	0.4087	0.5	**115**	0.5256***	15.89	0	0.4608	0.5904
24	0.3401***	5.79	0	0.2249	0.4552	**150**	0.5720***	11.46	0	0.4741	0.6698
25	0.2408***	2.82	0	0.7317	0.4084	**185**	0.6171***	9.23	0	0.4860	0.7482
26	0.1621***	1.73	0	-0.0217	0.3461	**220**	0.6603***	8.07	0	0.4999	0.8208
27	0.1047***	1.20	0	-0.0658	0.2753	**255**	0.7011***	7.46	0	0.5168	0.8853

Source: Done on Stata 15.1.

We generated the predicted values of the exogenous variables with different minimum, maximum value, and diverse level of the increments. Therefore, the predicted probabilities table show that the mean predicted probability (margin) of being almost (significant at the level of 10%) accepted is only 0.1655 if one's LNGDP value is 21 approximately 1318815734 US $ and increases to 0.8024 if one's LNGDP value is 28 approximately 1446257064291.48 US $. The mean predicted probability of being accepted is only 0.6119 if one's UR value is 0.5 and decreases to 0.2054 if one's UR value is 32. The mean predicted probability of being accepted is only 0.7808 if one's LNPE value is 20 approximately 485165195.4 US $ and cuts to 0.1047 if one's LNPE value is 27 approximately 532048240601.8 US $. The mean predicted probability of being accepted is only 0.3867 if one's FTR value is 10 and rises to 0.7011 if one's FTR value is 255.

4.2.3. The classification table examination

The following table allows apprehending the forecasting qualities of the model on the whole sample. In the classification table, cases with probabilities ≥ 0.5 are predicted as having the occurrence; other cases are predicted as not having the occurrence. Preferably, in most study we would like to have and to demonstrate that we have two groups with very different estimated probabilities. Our outcomes showed that 118 of the 233 observations that have no CAD, therefore, such 118 cases will avoid the crises. The model is perfectly predicted at (50.64%). Likewise, our findings confirm that 189 of the 261 observations remain in CAD, thus these 189 cases will suffer from the crises. The model is correctly predicted at (72.41%). However, 115 cases from 233 are classified as an observation with no CAD, but they will probably suffer from crises in the near future. The model is appropriately predicted at (49.36%). Similarly, 72 of 261 observations are considered as data that have the CAD, but they will probably escape from the crises in the near future. The model is suitably predicted at (27.59%).

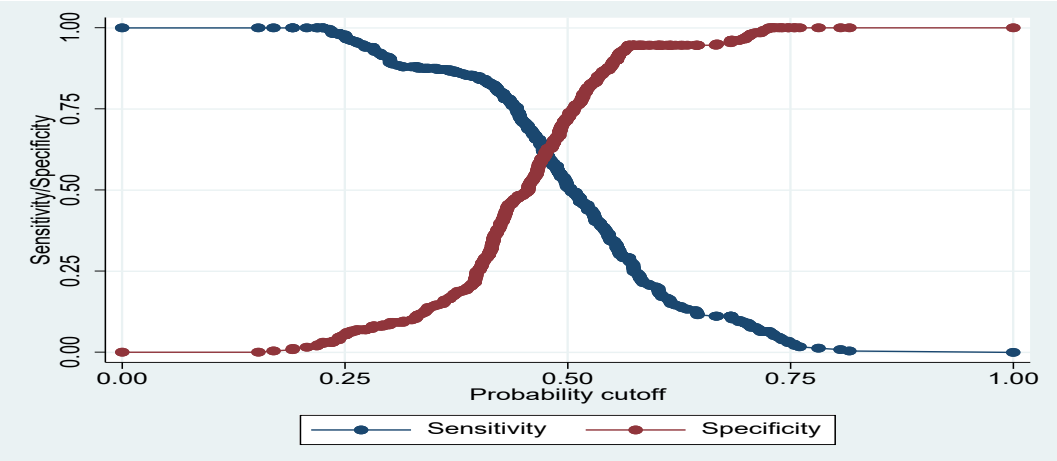
Table 13. The classification table.

	True		
Classified	**D**	**~D**	**Total**
+	118	72	190
-	115	189	304
Total	233	261	494
Classified + if predicted Pr(D) >= 0.5 True D defined as CAD != 0			
Sensitivity		**Pr(+| D)**	50.64%
Specificity		**Pr(-|~D)**	72.41%
Positive predictive value		**Pr(D| +)**	62.11%
Negative predictive value		**Pr(~D| -)**	62.17%
False + rate for true ~D		**Pr(+|~D)**	27.59%
False - rate for true D		**Pr(-| D)**	49.36%
False + rate for classified +		**Pr(~D| +)**	37.89%
False - rate for classified -		**Pr(D| -)**	37.83%
Correctly classified			62.15%

Source: Done on Stata 15.1.

In general, the correctly classified table showed that 62.15% of the model is suitable for prediction. We can also see in the Figure 1, that there is a concordance outcome with the previous findings.

Figure 1. Sensitivity and specificity vs probability cutoff.



Source: Done on Stata 15.1.

4.3. Goodness-of-fit

As a last step, we perform the Goodness-of-fit test to see if the sample data represents the data that expect to find in the actual population. The results are expressed in Table 14.

Table 14. Goodness-of-fit test.

Test	**Pearson χ^2 (494)**		**Prob**
Pearson	496.37		0.4615
Test	**Hosmer-Lemeshow χ^2 (3)**	**Number of group**	**Prob**
Hosmer-Lemeshow	4.18	3	0.2425

Source: Done on Stata 15.1.

The two tests denote that the whole model is well specified (we can't reject the null hypothesis; rather we accept it at the level of 5%) and is good fitted, so we can confirm that the observed and expected cell frequencies are generally in good agreement. However, after fitting the logistic regression model taking into account the previous result, the replaced F-adjusted mean residual goodness-of-fit test, which is the Wald test determined in the Table 11 suggest that there is no evidence of lack of fit.

We declare that the number of group is 3, because of there is 3 main classified economy country speciation; such as the first group is composed of Algeria, Egypt, and Saudi Arabia… These countries rely on the fossil-fuel exportation. The second group include Tunisia, Morocco, and Turkey, which their main sector is the tourism, while the 3rd group comprise Syrian, and Iran. These two countries suffer from civil war and economic restriction.

5. Conclusions

The adoption of CA policy as a scope for monetary policy in MENA countries will represent one of the most important subjects for Central Banks while conducting their economic policies since the introduction of floating exchange rates at the beginning of 1970s. The sustainability of CAD is a query of concern for almost all governments since CAD becomes more acute and unsustainable and creates volatility and eventually leads to financial distress or FC.

These results demonstrate the crucial necessity for designing integrated strategic plans for the CA imbalances, which may lead to FC. For example, when we focus on the forecasting probabilities, we will predict that a rise by one unit in LNGDP in the minimum value will surge the CAD by 0.1655, which is approximately 1318815734 US $, while an increase by one unit in LNGDP in the maximum value, will upsurge the CAD by 0.8024 which represent around 1446257064291.48 US $. In addition, these results may help the governments to establish priorities regarding to the assignment of the resources for national strategies to avoid FC. Different variables may be included and a wider time span can also be studied to analyse the CAD problem of countries in the aftermath of the recent global FC.

References

Abbes, S. M., Mostéfa, B., Seghir, G.M., & Zakarya, G.Y. (2015). Causal Interactions Between FDI and Economic Growth: Evidence from Dynamic Panel Co-Integration. *Procedia Economics and Finance*, *23*, 276-290.

Akaike, H. (1973). Information theory and an extension of the maximum likelihood principle. En *Springer Series in Statistics* (pp. 199-213). New York: Springer New York.

Akaike, H. (1977). On entropy maximization principle. En P.R. Krishnaiah (Ed.), *Applications of Statistics* (pp. 27-41). North-Holland, Amsterdam.

Al-Jundi, S.A., & Guellil, M.S. (2018). Causality between economic growth and investment in the United Arab Emirates. *International Journal of Economics and Business Research*, *15*(4), 524-540.

Allison, P. D. (2009). *Fixed Effects Regression Models*. London, UK: Newbury Park, CA.

Van Wijnbergen, S. (1984). TheDutch Disease': a disease after all? *The Economic Journal*, *94*(373), 41-55.

Arghyrou, M.G., & Chortareas, G. (2008). Current account imbalances and real exchange rates in the euro area. *Review of International Economics*, *16*(4), 747-764.

Barrell, R., Davis, E.P., Karim, D., & Liadze, I. (2010). The Impact of Global Imbalances: Does the Current Account Balance help to Predict Banking Crises in OECD Countries. *National Institute of Economic and Social Research (NIESR) Discussion Papers*, *351.* UK.

Belke, A., & Dreger, C. (2013). Current account imbalances in the euro area: Does catching up explain the development? Current account imbalances in the euro area. *Review of International Economics*, *21*(1), 6-17.

Bera, A.K., Jarque, C.M., & Lee, L.-F. (1984). Testing the normality assumption in limited dependent variable models. *International Economic Review*, *25*(3), 563-578.

Berti, K., Salto, M., & Lequien, M. (2012). An Early Detection Index of Fiscal Stress for EU Countries. *European Commission Economic Papers*, (Nº. 475). Directorate General Economic and Financial Affairs (DG ECFIN), European Commission.

Blanchard, O.J., & Giavazzi, F. (2002). Current account deficits in the euro area. The end of the Feldstein horioka puzzle? *Brookings papers on economic activity*, *2002*(2), 147-209.

Borio, C., & Lowe, P. (2002). Asset Prices, Financial and Monetary Stability: Exploring the Nexus. Bank for International Settlements. *Working Paper Series*, *114*, 1-47.

Breslow, N.E., & Day, N.E. (1980). Statistical methods in cancer research. Volume I - The analysis of case-control studies. *IARC Scientific Publications*, *32*, 5-338.

Breusch, T.S., & Pagan, A.R. (1980). The Lagrange multiplier test and its applications to model specification in econometrics. *The Review of Economic Studies*, *47*(1), 239-253.

Bucevska, V. (2011). An Analysis of Financial Crisis by an Early Warning System Model: The Case of the EU Candidate Countries. *Business and Economics Horizons, January*, 13-26.

Calderon, C.A., Chong, A., & Loayza, N. V. (2000). *Determinants of current account deficits in developing countries*. Policy Research Working Paper, N. 2398. World Bank, Washington, DC. World Bank.

Campa, J.M., & Gavilan, A. (2011). Current accounts in the euro area: An intertemporal approach. *Journal of International Money and Finance*, *30*(1), 205-228.

Cavdar, S.C., & Aydin, A.D. (2015a). A different perspective for current account deficit issue on some OECD member countries: A binary panel logit approach. *Research in World Economy*, *6*(3), 14-20.

Cavdar, S.C., & Aydin, A.D. (2015b). Understanding the factors behind current account deficit problem: A panel logit approach on 16 OECD member countries. *Procedia Economics and Finance*, *30*, 187-194.

Chamberlain, G. (1980). Analysis of Covariance with Qualitative Data. *The Review of Economic Studies*, *47*(1), 225-232.

Chekouri, S.M., & Benbouziane, M. (2017). Oil rents and institutional quality: empirical evidence from Algeria. *Topics in Middle Eastern and African Economies*, *19*(2), 1-31.

Collett, D. (2003). *Modelling binary data, second edition* (2ª ed.). Filadelfia, PA, Estados Unidos de América: Chapman & Hall/CRC.

Comelli, F., & FComelli@imf.org. (2013). Comparing parametric and non-parametric early warning systems for currency crises in emerging market economies. *IMF Working Papers*, *13*(134), 1-10.

Corden, W. M. (1984). Booming sector and dutch disease economics: Survey and consolidation. *Oxford Economic Papers*, *36*(3), 359-380.

Corden, W.M., & Neary, J.P. (1982). Booming sector and DE-industrialisation in a small open economy. *Economic Journal*, *92*(368), 825-833.

Demirgüç-Kunt, A., Detragiache, E., ADemirgüç-Kunt@imf.org, & EDetragiache@imf.org. (1998). The determinants of banking crises: Evidence from developing and developed countries. *IMF Working Papers*, *97*(106), 81-109.

Doornik, J.A., & Hansen, H. (2008). An omnibus test for univariate and multivariate normality. *Oxford Bulletin of Economics and Statistics*, *70*, 927-939.

Eichengreen, B., Rose, A., & Wyplosz, C. (1994). Speculative Attacks on Pegged Exchange Rates: An Empirical Exploration with Special Reference to The European Monetary System. *NBER Working Paper*, 1-49.

Eichengreen, B., Rose, A., & Wyplosz, C. (1996). Contagious currency crises: First tests. *The Scandinavian Journal of Economics*, *98*(4), 463-484.

Eita, J.H., Manuel, V., & Naimhwaka, E. (2018). *Macroeconomic variables and current account balance in Namibia. Munich Personal RePEc Archive (MPRA) Paper Nº. 88818*, 1-29.

Ganioglu, A. (2013). Rapid Credit Growth and Current Account Deficit as the Leading Determinants of Financial Crises. *Economics*, 1-26.

Gerni, C., Selcuk, E., & Deger, K.M. (2005). Erken Uyarı Sistemleri Yoluyla Türkiye'deki Ekonomik Krizlerin Analizi (The Analysis of Economic Crisis in Turkey via Early Warning Systems). *Ekonometri ve İstatistik Dergisi, 2*, 39-62.

Greene, W. H. (2012). *Econometric Analysis*. New York: Prentice Hall. US.

Gumusoglu, N.K., & Alcin, S. (2019). The Impact of Capital Flows on Current Account Deficit for Turkey. *Journal of Life Economics*, *6*(1), 21-34.

Hamerle, A., & Ronning, G. (1995). Panel Analysis for Qualitative Variables. En *Handbook of Statistical Modeling for the Social and Behavioral Sciences* (pp. 401-451). Boston, MA: Springer US.

Hannan, E.J., & Quinn, B. G. (1979). The determination of the order of an autoregression. *Journal of the Royal Statistical Society*, *41*(2), 190-195.

Harberger, A.C. (1950). Currency depreciation, income, and the balance of trade. *The Journal of Political Economy*, *58*(1), 47-60.

Hausman, J.A. (1978). Specification Tests in Econometrics. *Econometrica: Journal of the Econometric Society*, *46*(6), 125-1271.

Henze, N., & Zirkler, B. (1990). A class of invariant consistent tests for multivariate normality. *Communications in Statistics: theory and methods*, *19*(10), 3595-3617.

Hosmer, D.W., Lemeshow, S., & Sturdivant, R. X. (2013). *Applied Logistic Regression: Hosmer/applied logistic regression* (3ª. ed.). Hoboken, NJ, US: Wiley-Blackwell.

Kabadayi, B., & Celik, A.A. (2015). Determinant of Sovereign Ratings in Emerging Countries: A Qualitative, Dependent Variable Panel Data Analysis. *International Journal of Economics and Financial Issues*, *5*(3), 656-662.

Kaminsky, G., Lizondo, S., & Reinhart, C. M. (1998). Leading indicators of currency crises. *Staff papers - International Monetary Fund. International Monetary Fund*, *45*(1), 1-48.

Laursen, S., & Metzler, L.A. (1950). Flexible exchange rates and the theory of employment. *The Review of Economics and Statistics*, *32*(4), 281-299.

Lestano, J.J., & Kuper, H.G. (2003). *Indicators of Financial Crises Do Work! An Early-warning System for Six Asian Countries. CCSOWorking Paper*, *13*, 1-39.

Long, J.S., & Freese, J. (2005). *Regression Models for Categorical Dependent Variables Using Stata. Vol.7* (pp. 1-527). Texas: Stata Press.

Magdalena, S. (2010). Explaining Odds Ration. *Journal of the Canadian Academy of Child and Adolescent Psychiatry*, *19*(3), 227-229.

Mardia, K.V. (1970). Measures of multivariate skewness and kurtosis with applications. *Biometrika*, *57*(3), 519-530.

McCullagh, P. (1992). Introduction to Nelder and Wedderburn (1972) generalized linear models. En *Springer Series in Statistics* (pp. 543-546). New York: Springer New York.

Mccullagh, P., & Nelder, J.A. (1972). Generalized Linear Models. *Generalized Linear Models. Monographs on Statistics and Applied Probability*, *37-45*.

Mcfadden, D.L. (1974). Conditional logit analysis of qualitative choice behavior. En P. Zarembka (Ed.), *Frontiers in Econometrics* (pp. 105-142). New York: Academic Press.

Milesi-Ferretti, G. M. (1996). *Current account sustainability - selected East Asian and Latin American experiences*. Washington D.C., DC, US: International Monetary Fund.

Nart, K.S., & Kisla, C.A. (2009). *The Determinants of Currency Crises: A Panel Data Analysis. Middle Eastern Finance and Economics, 5*, 107-116.

Neary, P., & Van Wijnbergen, S. (1986). *Natural resources and the macroeconomy*. London, UK: Blackwell.

Özdamar, G. (2016). A Survey on the Factors Affecting Current Account Balance of Turkey: Evidence from ARDL-Bounds Testing Approach. *The Journal of International Social Research*, *9*(43), 2073-2082.

Pesaran, H. (2004). *General Diagnostic Tests for Cross Section Dependence in Panels.* University of Cambridge (Vol. 435). Working Paper.

Sachs, J.D., & Warner, A.M. (1997). *Natural resource abundance and economic growth (Working Paper Series WP 5398)*. Cambridge: NBER.

Sachs, J.D., Tornell, A., Velasco, A., Calvo, G.A., & Cooper, R.N. (1997). Financial crises in emerging markets: The lessons from 1995. *Brookings papers on economic activity*, Working Paper, 5576.

Schmitz, B., & von Hagen, J. (2011). Current account imbalances and financial integration in the euro area. *Journal of International Money and Finance*, *30*(8), 1676-1695.

Schmitz, P.I.M., Breslow, N.E., & Day, N.E. (1981). Statistical methods in cancer research. Vol. 1: The analysis of case-control studies. *Biometrics*, *37*(4), 866-867.

Schnabl, G., & Wollmershaeuser, T. (2013). Fiscal divergence and current account imbalances in Europe. *SSRN Electronic Journal*.

Schwarz, G. (1978). Estimating the dimension of a model. *Annals of statistics*, *6*(2), 461-464.

Shapiro, S. S., & Francia, R. S. (1972). An approximate analysis of variance test for normality. *Journal of the American Statistical Association*, *67*(337), 215-216.

Shapiro, S.S., & Wilk, M.B. (1965). An analysis of variance test for normality (complete sample). *Biometrika*, *52*(3-4), 591-611.

Singh, T.R. (2011). Ordered Probit model of Early Warning System for Predicting Financial Crisis in India. A chapter. En *Proceedings of the IFC Conference on "Initiatives to address data gaps revealed by the financial crisis"* (Vol. 34, pp. 185-201). Basel.

Zemanek, H., Belke, A., & Schnabl, G. (2010). Current account balances and structural adjustment in the euro area. *International Economics and Economic Policy*, *7*(1), 83-127.

REVISTA DE MÉTODOS CUANTITATIVOS PARA LA ECONOMÍA Y LA EMPRESA (33). Páginas 154-168.
Junio de 2022. ISSN: 1886-516X. D.L: SE-2927-06.
www.upo.es/revistas/index.php/RevMetCuant/article/view/4383

Evaluación del nivel de sostenibilidad en la gestión de las tecnologías y sistemas de información a través de la Lógica Difusa Compensatoria

LAMIS RIVERO, JOSÉ MANUEL
Ministerio de Educación Superior de Cuba
Correo electrónico: jmlamis@mes.gob.cu

PLASENCIA SOLER, JUAN ANTONIO
Universidad de las Ciencias Informáticas (Cuba)
Correo electrónico: juanps@uci.cu

MARRERO DELGADO, FERNANDO
Universidad Central Marta Abreu de Las Villas (Cuba)
Correo electrónico: fmarrero@uclv.edu.cu

RESUMEN

Las Tecnologías de la Información y las Comunicaciones han contribuido significativamente al desarrollo económico y social de la sociedad actual. La comunidad científica internacional está debatiendo sobre los efectos negativos y positivos de éstas y su relación con el medio ambiente y buscan soluciones en las tecnologías y sistemas de información sostenibles. El presente artículo propone un procedimiento para determinar el nivel de sostenibilidad en la gestión de tecnologías y sistemas de información a través del empleo de la Lógica Difusa Compensatoria en una organización. Los resultados de la aplicación del procedimiento permitieron calcular y evaluar el nivel de sostenibilidad en la gestión de sistemas y tecnologías de información. Tras analizar los resultados, se determinaron los criterios de medida peores evaluados entre los que se encontraron: la instalación de switches inteligentes, el despliegue de sistemas de enfriamiento libre, la implantación de tecnologías inteligentes, el uso de tecnología ecológica y la gestión de estrategias de Tecnologías y Sistemas de Información Sostenibles.

Palabras clave: sostenibilidad corporativa, gestión de tecnologías y sistemas de información, lógica difusa compensatoria.
Clasificación JEL: M15; Q56; C02.
MSC2010: 94D05.

Artículo recibido el 21 de octubre de 2019 y aceptado el 3 de octubre de 2020.

Determination of the level of sustainability in the management of information technologies and systems

ABSTRACT

Information and Communications Technologies have contributed significantly to the economic and social development of today's society. The international scientific community is discussing their negative and positive effects and their relationship with the environment, and are looking for solutions in sustainable technologies and information systems. The present investigation proposes a procedure to determine the level of sustainability in the management of technologies and information systems using Compensatory Fuzzy Logic in an organization. The results of the application of the procedure allowed calculating and evaluating the level of sustainability in the management of information systems and technologies. After analyzing the results, the worst measured criteria evaluated were determined among those found: the installation of intelligent switches, the deployment of free cooling systems, and the implementation of intelligent technologies, the use of ecological technology and the management of strategies for Sustainable Information Technologies and Systems.

Keywords: corporate sustainability, management of information technologies and systems, compensatory fuzzy logic.
JEL classification: M15; Q56; C02.
MSC2010: 94D05.

1. Introducción

La introducción y el uso de las Tecnologías de la Información y las Comunicaciones (TICs) han significado un salto vertiginoso en el desarrollo científico-técnico a escala mundial, ya que éstas se han convertido en un elemento indispensable en todas las facetas de la sociedad y en especial en la gestión empresarial.

En años recientes la comunidad científica internacional ha debatido sobre los efectos positivos y negativo que generan las TIC, durante su ciclo de vida (diseño, fabricación, uso y residuos). Según un estudio realizado por la CEPAL (2012) las emisiones directas de dichas tecnologías durante su ciclo de vida representan el 2.1% de las emisiones a nivel global, mientras que por otra parte las TIC, pueden minimizar el impacto ambiental de otras actividades, sectores, productos y servicios (Gartner, 2007).

En este contexto, los investigadores están trabajando en la vinculación de éstas con la sostenibilidad, principalmente en temáticas relacionadas con la reducción de los costos y los daños medioambientales. Las Tecnologías y Sistemas de Información constituyen una vía para que las organizaciones aumenten la eficacia en la gestión de sus procesos.

En las organizaciones toman auge prácticas relacionadas con las tecnologías y sistemas de información sostenibles, en idioma inglés "Green Technologies and Information Systems" (Green IT/IS), referidas al desarrollo y la implementación de sistemas de información que contribuyan a la sostenibilidad de los procesos de las empresas y a la eficiencia energética de los medios tecnológicos utilizados para la producción de los servicios informáticos y su reciclaje, de manera que no afecte al ambiente (Lamis et al., 2018).

La virtualización, la computación en la nube, la minimización de energía, la reducción en el uso de sustancias peligrosas en artículos electrónicos, entre otras, son algunas de las prácticas o iniciativas que adoptan las organizaciones, en función de alcanzar la sostenibilidad de sus procesos. Por todo lo antes expuesto, deviene la necesidad de gestionar las tecnologías y sistemas de información y específicamente determinar el nivel de sostenibilidad en función de su gestión en la organización.

La presente investigación tiene como objetivo desarrollar un procedimiento para evaluar el nivel de sostenibilidad en la gestión de tecnologías y sistemas de información en una organización a través del empleo de la Lógica Difusa Compensatoria.

Los autores han estructurado la investigación de la manera siguiente. Una primera sección donde se caracterizan los principales conceptos de Green IT/IS, además se plantean los fundamentos teóricos relacionados con la Lógica Difusa Compensatoria. En un segundo apartado se describe la metodología para determinar el nivel de sostenibilidad en la gestión de tecnologías y sistemas de información. Por último, son enunciados los principales resultados de la aplicación del procedimiento y se exponen las conclusiones de la investigación.

2. Revisión bibliográfica

2.1. Las tecnologías y sistemas de información sostenibles

El impacto de las Tecnologías de la Información y las Comunicaciones en los ámbitos: social, económico, político, cultural y ecológico es objeto de estudio de investigadores y académicos en la actualidad. Por una parte, tienen un rol importante en el desarrollo, y constituyen un facilitador de oportunidades educativas, ya sea a través de la educación masiva, la información en línea o su apoyo la formación de personas (Pattinson, 2017). Además, contribuyen a la generación de gases de efecto invernadero y la contaminación medioambiental (CEPAL, 2012).

Estudios recientes (Saunila et al., 2019; Filho et al., 2019) revelan el rol que juegan las TIC, en el desarrollo de la sostenibilidad organizacional durante su ciclo de vida: diseño, fabricación, uso y residuos. Las organizaciones buscan maximizar los impactos positivos de las tecnologías, minimizando los efectos negativos en el medio ambiente a través de Sistemas de información sostenibles, en idioma inglés "Green Information Systems" (Green IS) y de Tecnologías de la información sostenible, "Green Information Technology" (Green IT).

A decir de Chen (2019) las Green IT se refieren a la eficiencia, el uso efectivo y fabricación de tecnologías con un mínimo impacto en el medio ambiente. Sin embargo, Melville (2010) define las Green IT como la producción, aplicación, operación y eliminación de productos de tecnologías de la información (TI) a lo largo de su ciclo de vida, con un mínimo o ningún impacto ambiental negativo.

Los Sistemas de Información Sostenibles (Green IS) se refieren a un conjunto de herramientas de software o servicios utilizadas para lograr sosteniblemente los objetivos dentro de las organizaciones. El alcance de las Green IS es más amplio que las Green IT. Mientras que las Green IT proporcionan herramientas tecnológicas (hardware, software y equipos periféricos) para soportar las funciones de manera eficiente sin que afecte al medio ambiente, las Green IS destaca la comunicación, los servicios compartidos, la planificación de recursos empresariales y la relación con los clientes dentro de un límite organizacional, con el objetivo de mejorar la eficiencia y efectividad de las organizaciones en su incidencia con el medio ambiente (Molla, 2013).

De manera general, las TI son vistas como "parte del problema" y las Green IT están enfocadas a mitigar su efecto durante su ciclo de vida, por ejemplo, el consumo de energía en centros de datos y los desechos electrónicos; sin embargo, los sistemas de información son vistos como "parte de la solución", y las Green IS utilizan su potencial, por ejemplo, en sistemas de gestión medioambiental (Lai et al., 2012).

Los autores de la presente investigación definen un grupo de dimensiones para abordar los Sistemas y Tecnologías Sostenibles teniendo en cuenta las investigaciones (Asadi et al., 2017; Khor et al., 2015; Loeser et al., 2017). La Tabla 1 muestra las principales dimensiones de Green IT/IS.

Tabla 1. Principales dimensiones de Green IT/IS.

Dimensiones	Conceptualización
Uso sostenible	Uso de dispositivos tecnológicos y otros sistemas o tecnologías de información de una manera ecológicamente racional en términos de reducir el consumo de energía.
Adquisición sostenible	Se refiere a la adquisición de productos ecológicos, materiales, componentes o tecnologías ajustadas a las normas o indicadores ambientales, logrando disminuir la generación de productos químicos inseguros.
	Monitorea la contratación de proveedores para que cumplan con estas normas.
Fabricación y desarrollo sostenible	Se refiere a la fabricación de componentes electrónicos, computadoras, y otros subsistemas asociados con un impacto mínimo o nulo en el medio ambiente
	Además, comprende la automatización de procesos, la implementación de tecnologías inteligentes e iniciativas de desmaterialización.
Diseño sostenible	Se refiere al diseño de componentes energéticamente eficientes y ambientalmente racional, servidores y equipos de refrigeración.
Control de reciclaje y residuos	Se refiere a la restauración y reutilización de computadoras viejas y otros equipos electrónicos para reducir los components, para reducir el desperdicio de recursos y la contaminación.
Gobierno sostenible	Incluye el diseño de estrategias para la sostenibilidad ambiental.

Fuente: Elaboración propia.

Una revisión de la literatura científica producida por Chan y Johansson (2014), muestra cómo la mayoría de las publicaciones sobre las tecnologías y sistemas de información sostenibles se enfocan principalmente en sus impactos ambientales. Las investigaciones no tienen en cuenta las potencialidades para añadir valor agregado a los procesos de negocio, así como aspectos económicos, sociales, culturales, jurídicos, tecnológicos, institucionales, entre otros.

Por lo tanto, la determinación del nivel de sostenibilidad en la gestión de las tecnologías y sistemas de información de las organizaciones debe tener en cuenta el carácter multidimensional o multiperspectivo de la sostenibilidad. Los elementos que permiten evaluar el nivel en que se encuentran las prácticas de Green IT/IS en una organización son conceptos que se corresponden con las características de los conjuntos difusos al no poder representarse como números precisos o ser clasificados específicamente.

Teniendo en cuenta lo anterior, los autores de la investigación consideraron que la Lógica Difusa Compensatoria constituye una herramienta factible para construir índices que permitan evaluar el nivel de sostenibilidad en la gestión de tecnologías y sistemas de información.

2.2. Lógica Difusa Compensatoria

Los conjuntos difusos son una herramienta útil para representar el conocimiento humano (Xu & Zhou, 2011), pues la ambigüedad es una característica inherente al lenguaje natural (Villa, 2019). La lógica difusa permite implementar procesos de razonamiento por medio de reglas y predicados que generalmente se refieren a cantidades indefinidas o inciertas. Estos predicados pueden obtenerse con sistemas que "aprenden" al "procesar" datos reales o pueden también ser formulados por un experto humano o, mejor aún, por el consenso entre varios de ellos (Racet-Valdés et al., 2017).

La lógica difusa puede entenderse como una herramienta matemática cuya amplia aplicabilidad se basa en la concepción de conjuntos con fronteras no exactas que se emplean en presencia de información imperfecta (Zadeh et al., 1996). Para representar el conocimiento lingüístico cualitativo en un lenguaje matemático se emplea la lógica de predicados. (Novák et al., 2012).

Los predicados tienen un valor de veracidad que depende del conjunto de datos asociados y para calcular su veracidad debe definirse el operador concreto a utilizar (Morales, 2002). En este sentido, se asume en la presente investigación la Lógica Difusa Compensatoria (LDC) que permite la compensación de unos predicados básicos con otros, aporta un sistema formal con propiedades lógicas y constituye un puente entre la lógica y la toma de decisiones (Antelo-González & Alfonso-Robaina, 2015). La LDC utiliza la escala de la Lógica difusa, que puede variar de 0 a 1.

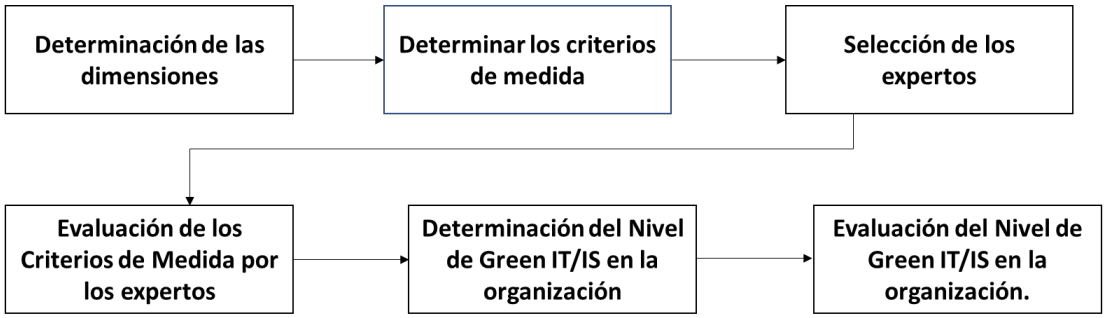
El intercambio con los expertos lleva a obtener formulaciones complejas y sutiles que requieren de predicados compuestos. Los valores de verdad obtenidos sobre estos predicados compuestos deben poseer sensibilidad a los cambios de los valores de verdad de los predicados básicos (Bouchet et al., 2010).

La LCD propone la idea de que el aumento o disminución del valor de la conjunción o la disyunción provocada por el cambio del valor de verdad de una de sus componentes puede ser “compensado” con la correspondiente disminución o aumento de la otra (Antelo-González y Alfonso-Robaina, 2015).

3. Procedimiento para diagnosticar iniciativas Green IT/IS en una organización

En la investigación los autores proponen un procedimiento para la evaluación del nivel de sostenibilidad en la gestión de las tecnologías y sistemas de información de una organización a través del empleo de la Lógica Difusa Compensatoria, como se muestra en la Figura 1.

Figura 1. Procedimiento para la evaluación del nivel de sostenibilidad en la gestión de las tecnologías y sistemas de información.



Fuente: Elaboración propia.

A continuación, se describen cada uno de los pasos que componen el procedimiento para la determinación del nivel de sostenibilidad en la gestión de las tecnologías y sistemas de información de una organización.

Paso 1. Determinación de las dimensiones

En el procedimiento es de vital importancia la determinación de las dimensiones con las que se trabajarán para medir el nivel de sostenibilidad en la gestión de tecnologías y sistemas de información. Teniendo en cuenta los elementos relacionados en la Tabla 1, los autores de la investigación han seleccionado las siguientes dimensiones: uso sostenible; adquisición sostenible; fabricación y desarrollo sostenible; diseño sostenible; gobierno sostenible; y control de reciclaje y residuos.

Tras definir las dimensiones con las que se realizará el estudio, se deben asociar criterios de medida a cada una de éstas.

Paso 2. Determinar los criterios de medida

Para este paso se propone agregar criterios de medida a cada una de las dimensiones definidas anteriormente. A continuación, la Tabla 2 muestra los criterios de medida propuestos para la investigación asociado a cada dimensión.

Tabla 2. Criterios de medida asociados a cada dimension.

Dimensión	Criterios de medida asociados
Adquisición sostenible	CM1: monitorización de acciones medioambientales. CM2: contribución con proveedores sobre temas medioambientales. CM3: requerimientos medioambientales para proveedores. CM4: compra de suministros ecológicos. CM5: centralización de contratación de equipamiento TI.
Diseño sostenible	CM6: virtualización de las redes. CM7: instalación de switches inteligentes. CM8: enfriamiento dinámico y monitorización de la temperatura del aire. CM9: despliegue de sistemas de enfriamiento libres.
Uso sostenible	CM10: monitorización del consumo de energía de los servidores. CM11: UPS modernos en los Centros de datos. CM12: sistemas para optimizar el suministro de energía. CM13: reducción de hardware. CM14: impresoras multifuncionales compartida en la red.

	CM15: utilización tecnología LED.
	CM16: uso de videoconferencias, reuniones virtuales, teletrabajo y educación a distancia.
	CM17: prácticas de fabricación inteligente.
Fabricación y desarrollo sostenible	CM18: automatización de procesos.
	CM19: ciclo de vida del producto.
	CM20: tecnologías inteligentes.
	CM21: iniciativas de desmaterialización.
	CM22: gestión de las tecnologías y sistemas de información.
	CM23: inventario de hardware TI.
Gobierno sostenible	CM24: tecnología ecológica.
	CM25: información almacenada.
	CM26: estrategia Green IT/IS.
	CM27: sistemas de gestión ecológica.
Control de reciclaje y residuos	CM28: reciclaje y reúso de hardware.
	CM29: gestión de desechos electrónicos.

Fuente: Elaboración propia a partir de Loeser et al.(2017).

Paso 3. Selección de los expertos

En este paso, en primer lugar, se debe calcular la cantidad de expertos que intervienen en la investigación. Por lo que, utilizando un método probabilístico y asumiendo una ley de probabilidad binomial, se calcula el número de expertos a través de la ecuación 4 propuesta en Sarache-Castro et al. (2015).

$$ne = \frac{p * (1 - p) * k}{i^2} \quad [1]$$

donde:
ne: número de expertos.
i: nivel de precisión deseado.
p: proporción estimada de errores de los expertos.
k: constante asociada al nivel de confianza elegido.

Luego es necesario identificar dentro de los candidatos a expertos preseleccionados, aquellos con un coeficiente de competencia (K) alto. Se propone utilizar el método expuesto por Cabero-Almenara y Barroso-Osuna (2013) y Michalus, Castro y Hernández-Pérez (2015) para calcular el coeficiente de competencia y finalmente seleccionar los expertos para el estudio, como muestra la ecuación 5.

$$K = 1/2(Kc + Ka) \quad [2]$$

donde:
Kc: coeficiente de conocimiento o información.
Ka: coeficiente de argumentación o fundamentación.

Con los valores obtenidos se clasifican los expertos en tres grandes grupos: para valores de K mayores que 0.8 y menores o iguales que 1, entonces hay influencia alta en todas las fuentes; si K es mayor o igual que 0.7 y menor o igual que 0.8, entonces hay influencia media en todas las fuentes; finalmente si K es mayor o igual que 0.5 y menor o igual que 0.7, entonces existe una influencia baja en todas las fuentes (Cabero-Almenara & Barroso-Osuna, 2013).

Paso 4. Evaluación de los criterios de medidas por los expertos

En este paso, los expertos, evalúan a través de una lista de chequeo los que contienen informaciones sobre el cumplimiento de los criterios de medidas. En la Tabla 3 se muestra la escala para la evaluación de cada criterio.

El coeficiente de variación para cada criterio de medida de los juicios emitidos por los expertos debe ser menor al valor de 0.20, lo que permite validar la concordancia entre los expertos.

Tabla 3. Escala para la evaluación de cada criterio.

Valor de verdad	Categoría
Falso	0
Casi falso	0.1
Bastante falso	0.2
Algo falso	0.3
Más falso que verdadero	0.4
Tan verdadero como falso	0.5
Más verdadero que falso	0.6
Algo verdadero	0.7
Bastante verdadero	0.8
Casi verdadero	0.9
verdadero	1

Fuente: Andrade et al. (2014).

Paso 5. Determinación del Nivel de Green IT/IS en la organización

En este paso se realizan las formulaciones verbales del modelo de lógica difusa propuesto para evaluar el Nivel de Green IT/IS en una organización y su traducción al lenguaje del cálculo de predicados. En la LDC, el operador conjunción, expresado como c(∧) es la media geométrica, como muestra en la ecuación 3 (Andrade et al., 2014):

$$c(p_1, p_2, \cdots, p_n) = (\mu_{p1} \times \mu_{p2} \cdots \times \mu_{pn})^{\frac{1}{n}} \quad [3]$$

La disyunción d(∨), es el operador dual de la media geométrica, que garantiza el cumplimiento de las reglas de De Morgan (Cejas-Montero, 2011), como muestra la ecuación 4:

$$d(p_1, p_2, \cdots, p_n) = (1 - [(1 - \mu_{p1}) \times (1 - \mu_{p2}) \cdots \times (1 - \mu_{pn})])^{\frac{1}{n}} \quad [4]$$

También se define la ecuación 5 la negación n (not), como la función:

$$n(p) = 1 - \mu_p \quad [5]$$

En estas ecuaciones se denota, para simplificar la notación:

$\mu_{p1}(x, y) = v(P_1), \mu_{p2} = v(P_2), \cdots, \mu_{pn} = v(P_n)$ A los valores de los predicados $P_1, P_2, \cdots, P_n$

El autor de la investigación ha definido el predicado primario siguiente.

Una organización X posee un alto nivel de sostenibilidad en la gestión de las tecnologías y sistemas de información si 1) existe un alto grado adquisición sostenible y 2) un alto grado de diseño sostenible y 3) un alto nivel de desarrollo y fabricación sostenible, además 4) un alto grado de uso sostenible y 5) control en la reutilización y el reciclaje.

Teniendo en cuenta lo anterior, el predicado compuesto se puede modelar de la manera siguiente:

$$N_{Green\ IT/IS} = AS(x) \wedge DS(x) \wedge DFS(x) \wedge US(x) \wedge GS(x) \wedge CRR(x)$$

donde:

$N_{Green\ IT/IS}$: Nivel de Green IT/IS
AS: valor de verdad del nivel de adquisición sostenible en la organización.
DS: valor de verdad del nivel de diseño sostenible en la organización.
DFS: valor de verdad del nivel de desarrollo y fabricación sostenible en la organización.
US: valor de verdad del nivel de uso sostenible en la organización.
GS: valor de verdad del nivel de gobierno sostenible en la organización.
CRR: valor de verdad del nivel de control en la reutilización y el reciclaje en la organización.

Teniendo en cuenta el predicado anterior y las prácticas de Green IT/IS asociadas a cada dimensión representadas en la Tabla 2, se definen un grupo de predicados secundarios, utilizando los exponentes 2 y 3 para modelar la palabra "muy fuerte" e "híper" y el exponente ½ para modelar las palabras algo y más o menos. Este predicado es representado en un árbol difuso con el objetivo de evaluar el nivel de sostenibilidad en la gestión de tecnologías y sistemas de información en una organización.

La Tabla 4 muestra las formulaciones verbales de los predicados secundarios y sus ecuaciones matemáticas.

Tabla 4. Formulaciones verbales de los predicados secundarios y sus ecuaciones matemáticas.

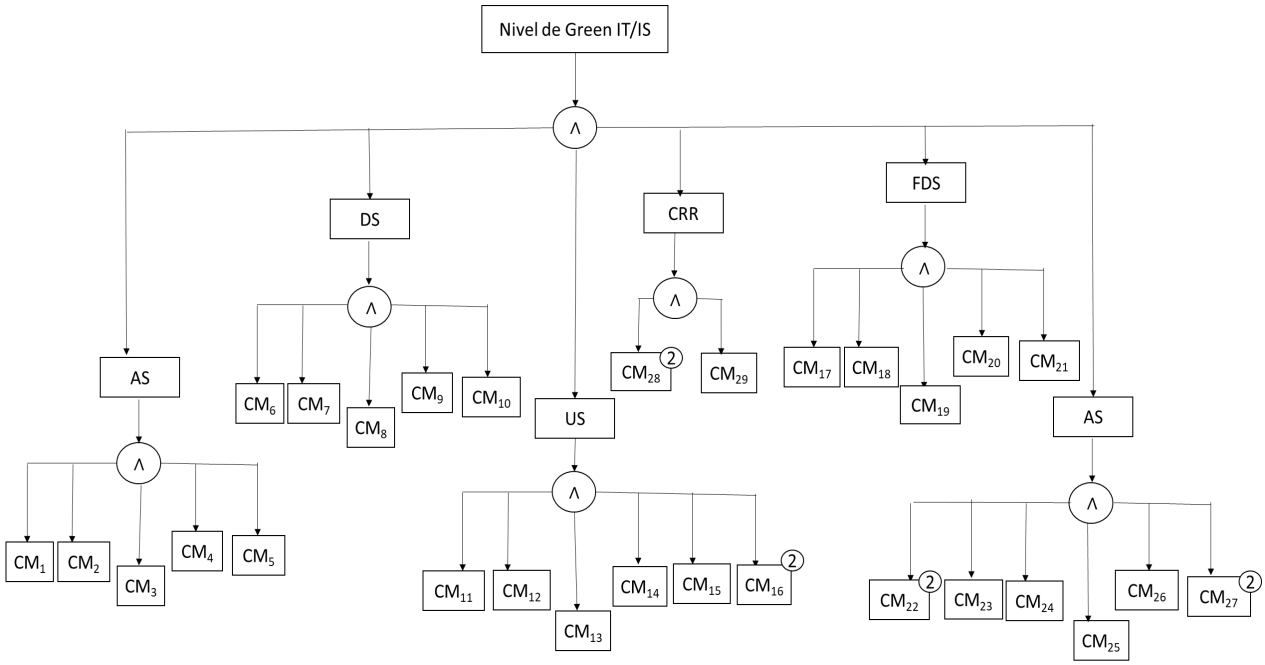
Formulaciones verbales de los predicados	Ecuación matemática
Una organización X posee un alto grado de Adquisición sostenible (AS) si: a) Tiene un alto nivel de monitorización de sus acciones medioambientales (CM_1). b) Contribuye en gran medida con los proveedores sobre temas medioambientales (CM_2). c) Establece en gran medida requerimientos medioambientales para proveedores (CM_3). d) Compra una gran cantidad de suministros ecológicos (CM_4). e) Centraliza en gran medida la contratación de equipamiento TI (CM_5).	$AS(X) = \mathrm{CM}_1(\mathrm{X}) \wedge \mathrm{CM}_2(\mathrm{X}) \wedge \mathrm{CM}_3(\mathrm{X}) \wedge \mathrm{CM}_4(\mathrm{X}) \wedge \mathrm{CM}_5(\mathrm{X})$ ó $\mathrm{AS(X)}=\sqrt[5]{\mathrm{CM}_1(\mathrm{X}) * \mathrm{CM}_2(\mathrm{X}) * \mathrm{CM}_3(\mathrm{X}) * \mathrm{CM}_4(\mathrm{X}) * \mathrm{CM}_5(\mathrm{X})}$
Una organización X posee un alto grado de Diseño sostenible (DS) si: a) Tiene un alto nivel de virtualización en las redes (CM_6). b) Se realiza una adecuada gestión de las redes mediante de instalación de switches inteligentes (CM_7). c) Se realiza una adecuada monitorización de temperatura del aire mediante la instalación de sistemas de enfriamiento dinámicos (CM_8). d) Existe un gran despliegue de sistemas de enfriamiento libres (CM_9). e) Se monitoriza en gran medida el consumo de energía de los servidores (CM_{10}).	$DS(X) = \mathrm{CM}_6(\mathrm{X}) \wedge \mathrm{CM}_7(\mathrm{X}) \wedge \mathrm{CM}_8(\mathrm{X}) \wedge \mathrm{CM}_9(\mathrm{X}) \wedge \mathrm{CM}_{10}(\mathrm{X})$ ó $\mathrm{DS(X)}=\sqrt[5]{\mathrm{CM}_6(\mathrm{X}) * \mathrm{CM}_7(\mathrm{X}) * \mathrm{CM}_8(\mathrm{X}) * \mathrm{CM}_9(\mathrm{X}) * \mathrm{CM}_{10}(\mathrm{X})}$
Una organización X posee un alto grado de Uso sostenible (US) si: a) Tiene un alto utilización de UPS modernos y eficientes en los Centros de Datos (CM_{11}). b) Se utiliza en gran medida sistemas para optimizar el suministro de energía (CM_{12}). c) Se implementa una gran cantidad de prácticas relacionadas con la reducción de hardware (CM_{13}).	$US(X) = \mathrm{CM}_{11}(\mathrm{X}) \wedge \mathrm{CM}_{12}(\mathrm{X}) \wedge \mathrm{CM}_{13}(\mathrm{X}) \wedge \mathrm{CM}_{14}(\mathrm{X}) \wedge \mathrm{CM}_{15}(\mathrm{X}) \wedge \mathrm{CM}_{16}{}^{2}(\mathrm{X})$ ó $\mathrm{US(X)}=\sqrt[7]{\mathrm{CM}_{11}(\mathrm{X}) * \mathrm{CM}_{12}(\mathrm{X}) * \mathrm{CM}_{13}(\mathrm{X}) * \mathrm{CM}_{14}(\mathrm{X}) * \mathrm{CM}_{15}(\mathrm{X}) * \mathrm{CM}_{16}{}^{2}(\mathrm{X})}$

d) Se utilizan en gran medida impresoras multifuncionales compartidas en la red (CM_{14}). e) Se utilizan en gran medida Tecnología LED para los monitores (CM_{15}). f) Existe un uso muy fuerte de servicio como videoconferencias, reuniones virtuales, teletrabajo y educación a distancia (CM_{16}).	
Una organización X posee un alto grado de Fabricación y desarrollo sostenible (FDS) si: a) Tiene una alta utilización de prácticas relacionadas con la fabricación inteligente (CM_{17}). b) Tiene automatizado en gran medida sus procesos (CM_{18}). c) Se estima adecuadamente el ciclo de vida del producto (CM_{19}). d) Se implementa en un alto nivel tecnologías inteligentes (CM_{20}). e) Se promueven en gran medida iniciativas de desmaterialización (CM_{21}).	$FDS(X) = \mathrm{CM}_{17}(\mathrm{X}) \wedge \mathrm{CM}_{18}(\mathrm{X}) \wedge \mathrm{CM}_{19}(\mathrm{X}) \wedge \mathrm{CM}_{20}(\mathrm{X}) \wedge \mathrm{CM}_{21}(\mathrm{X})$ ó $\mathrm{FDS(X)}=\sqrt[5]{\mathrm{CM}_{17}(\mathrm{X}) * \mathrm{CM}_{18}(\mathrm{X}) * \mathrm{CM}_{19}(\mathrm{X}) * \mathrm{CM}_{20}(\mathrm{X}) * \mathrm{CM}_{21}(\mathrm{X})}$
Una organización X posee un alto grado de Gobierno sostenible (GS) si: a) Tiene una muy fuerte gestión de Tecnologías y Sistemas de Información (CM_{22}). b) Se controla adecuadamente el inventario TI (CM_{23}). c) Se usa en gran medida la tecnología ecológica (CM_{24}). d) Se gestiona adecuadamente el ciclo de vida de la información almacenada (CM_{25}). e) Existe una muy fuerte gestión de estrategias de Green IT/IS (CM_{26}). f) Se implementan en gran medida sistema de gestión ecológica (CM_{27}).	$GS(X) = \mathrm{CM}_{22}{}^{2}(\mathrm{X}) \wedge \mathrm{CM}_{23}(\mathrm{X}) \wedge \mathrm{CM}_{24}(\mathrm{X}) \wedge \mathrm{CM}_{25}(\mathrm{X}) \wedge \mathrm{CM}_{26}{}^{2}(\mathrm{X}) \wedge \mathrm{CM}_{27}(\mathrm{X})$ ó $\mathrm{GS(X)}=\sqrt[8]{\mathrm{CM}_{22}{}^{2}(\mathrm{X}) * \mathrm{CM}_{23}(\mathrm{X}) * \mathrm{CM}_{24}(\mathrm{X}) * \mathrm{CM}_{25}(\mathrm{X}) * \mathrm{CM}_{26}{}^{2}(\mathrm{X}) * \mathrm{CM}_{27}(\mathrm{X})}$
Una organización X posee un alto grado de Control de reciclaje y residuos (CRR) si: a) Tiene una estrategia muy fuerte para el reciclaje y utilización de hardware para extender la vida de equipos TI (CM_{28}). b) Se gestiona adecuadamente los desechos electrónicos (CM_{29}).	$GS(X) = \mathrm{CM}_{28}{}^{2}(\mathrm{X}) \wedge \mathrm{CM}_{29}(\mathrm{X})$ ó $\mathrm{GS(X)}=\sqrt[3]{\mathrm{CM}_{28}{}^{2}(\mathrm{X}) * \mathrm{CM}_{29}(\mathrm{X})}$

Fuente: Elaboración propia.

Este predicado fue representado en un árbol difuso con el objetivo de evaluar el nivel de sostenibilidad en la gestión de tecnologías y sistemas de información en una organización. La Figura 2 muestra la representación del árbol lógico de predicados para evaluar el nivel de Green IT/IS.

Figura 2. Representación del árbol lógico de predicados para evaluar el nivel de Green IT/IS.



Fuente: Elaboración propia.

Paso 6. Evaluación del Nivel de Green IT/IS en la organización.

Tras calcular $N_{Green\ IT/IS}$ es evaluado entre 0 y 1 en dependencia del nivel de Green IT/IS. Mientras más alto sea éste, más cerca del valor 1 estará el valor. En la Tabla 5 se muestra la escala de evaluación del nivel de Green IT/IS. Se debe tener en cuenta que se aborda una medida de la sostenibilidad percibida o subjetiva.

Tabla 5. Escala para la evaluación del nivel de Green IT/IS.

Nivel	Evaluación
$0.90 \leq Ne \leq 1$	Muy alto
$0.75 \leq Ne \leq 0.89$	Alto
$0.50 \leq Ne \leq 0.74$	Medio
$0.35 \leq Ne \leq 0.49$	Bajo
$0.00 \leq Ne \leq 0.34$	Muy bajo

Fuente: Elaboración propia.

4. Resultados de la aplicación del procedimiento

En este apartado se muestran los principales resultados de la determinación del nivel de sostenibilidad en la gestión de las tecnologías y sistemas de información sostenible en una empresa de productos y servicios informáticos.

Según el procedimiento antes descrito, para la investigación se tomaron en cuenta las dimensiones y sus criterios de medidas asociados, tal y como aparecen reflejados en la Tabla 2.

A continuación se calculó el número de expertos necesarios para la investigación (ne) teniendo en cuenta el nivel de precisión del 9%, la proporción estimada de errores (promedio) del 1% y el nivel de confianza del 99%, fue de nueve. Luego fueron seleccionados de la cantera de candidatos, los expertos con mayor coeficiente de competencia (K). Estos evaluaron cada criterio de medida a través de la escala de valores de la Tabla 3. El coeficiente de variación (CV) entre los juicios emitidos para cada criterio fue menor que 0.2 en todos los casos, valor que indica que las valoraciones de los expertos fueron concordantes. A continuación, la Tabla 6 muestra las evaluaciones de cada criterio por experto.

Tabla 6. Evaluaciones de cada criterio por experto.

Criterios	E1	E2	E3	E4	E5	E6	E7	E8	E9	CV
CM_1	0.5	0.4	0.3	0.5	0.6	0.4	0.5	0.4	0.4	0.0175
CM_2	0.6	0.5	0.6	0.5	0.5	0.5	0.5	0.7	0.6	0.0095
CM_3	0.4	0.4	0.4	0.5	0.4	0.4	0.4	0.4	0.3	0.00625
CM_4	0.8	0.8	0.7	0.7	0.6	0.7	0.7	0.6	0.7	0.00714286
CM_5	0.8	0.7	0.7	0.7	0.7	0.7	0.7	0.7	0.7	0.0015625
CM_6	0.5	0.5	0.5	0.5	0.5	0.5	0.5	0.5	0.5	0
CM_7	0.3	0.3	0.2	0.2	0.2	0.3	0.2	0.2	0.2	0.01071429
CM_8	0.6	0.6	0.7	0.6	0.6	0.5	0.7	0.6	0.6	0.00590909
CM_9	0.1	0.1	0.1	0.2	0.2	0.1	0.1	0.1	0.1	0.01590909
CM_{10}	0.8	0.8	0.8	0.8	0.7	0.7	0.9	0.8	0.8	0.00457746
CM_{11}	0.9	0.9	0.9	0.9	0.9	0.9	0.9	0.9	0.9	0
CM_{12}	0.5	0.5	0.4	0.4	0.4	0.4	0.4	0.4	0.4	0.00460526
CM_{13}	0.8	0.8	0.8	0.8	0.8	0.8	0.8	0.8	0.8	0
CM_{14}	0.3	0.3	0.3	0.3	0.3	0.3	0.3	0.4	0.2	0.00833333
CM_{15}	1	1	1	1	1	1	1	1	1	0
CM_{16}	0.5	0.6	0.5	0.5	0.4	0.5	0.5	0.5	0.5	0.005
CM_{17}	0.5	0.5	0.5	0.5	0.5	0.5	0.5	0.5	0.5	0
CM_{18}	0.7	0.7	0.8	0.6	0.6	0.7	0.7	0.7	0.8	0.00714286
CM_{19}	0.7	0.8	0.9	0.8	0.8	0.8	0.8	0.8	0.8	0.003125
CM_{20}	0.2	0.2	0.2	0.2	0.2	0.2	0.2	0.2	0.2	0
CM_{21}	0.4	0.4	0.5	0.4	0.4	0.4	0.4	0.4	0.5	0.00460526
CM_{22}	0.5	0.4	0.5	0.4	0.5	0.5	0.6	0.6	0.4	0.0125
CM_{23}	0.6	0.6	0.6	0.6	0.6	0.6	0.6	0.6	0.6	0
CM_{24}	0.2	0.2	0.3	0.2	0.2	0.2	0.2	0.2	0.2	0.00526316
CM_{25}	0.7	0.7	0.7	0.6	0.6	0.7	0.7	0.7	0.7	0.00286885
CM_{26}	0.2	0.2	0.2	0.2	0.2	0.2	0.2	0.2	0.2	0
CM_{27}	0.4	0.5	0.5	0.4	0.3	0.3	0.4	0.4	0.4	0.0125
CM_{28}	0.7	0.8	0.8	0.7	0.7	0.7	0.7	0.7	0.7	0.00269231
CM_{29}	0.8	0.8	0.8	0.9	0.9	0.9	0.8	0.8	0.8	0.003

Fuente: Elaboración propia.

Teniendo en cuenta las formulaciones verbales y sus ecuaciones matemáticas (Tabla 4) se calculó el nivel de sostenibilidad en la gestión de tecnologías y sistemas de información. A continuación, la Tabla 7 muestra el cálculo del Nivel de Green IT/IS en la organización objeto de estudio.

Teniendo en cuenta los resultados del procedimiento, el nivel de sostenibilidad en la gestión de tecnologías y sistemas de información es medio ($N_{Green\ IT/IS}$=0.5181). La dimensión mejor evaluada fue la de Control de Reciclaje y Residuos. Por otra parte, dos de las dimensiones peores evaluadas fueron Diseño y Gobierno sostenible.

Los criterios peores evaluados son los relacionados con la instalación de switches inteligentes, el despliegue de sistemas de enfriamiento libre, la implantación de tecnologías inteligentes, el uso tecnología ecológica y la gestión de estrategias de Green IT/IS.

Tabla 7. Cálculo del Nivel de Green IT/IS en la organización.

Criterio de medida	Valor	Dimensión	Media geométrica	Nivel de Green IT/IS
CM_1	0.44	Adquisición sostenible (AS)	0.5450	**0.5181**
CM_2	0.55			
CM_3	0.4			
CM_4	0.7			
CM_5	0.71			
CM_6	0.5	Diseño sostenible (DS)	0.3657	
CM_7	0.23			
CM_8	0.6			
CM_9	0.12			
CM_{10}	0.79	Uso sostenible (US)	0.5822	
CM_{11}	0.9			
CM_{12}	0.42			
CM_{13}	0.8			
CM_{14}	0.3			
CM_{15}	1			
CM_{16}	0.5			
CM_{17}	0.5	Fabricación y desarrollo sostenible (FDS)	0.4723	
CM_{18}	0.7			
CM_{19}	0.8			
CM_{20}	0.2			
CM_{21}	0.42			
CM_{22}	0.5			
CM_{23}	0.6			
CM_{24}	0.22	Gobierno sostenible (GS)	0.3698	
CM_{25}	0.68			
CM_{26}	0.2			
CM_{27}	0.39			
CM_{28}	0.72	Control de reciclaje y residuos (CRR)	0.7549	
CM_{29}	0.83			

Fuente: Elaboración propia.

5. Conclusiones

La gestión de sistemas y tecnologías de información representan un reto y una oportunidad en la búsqueda de la sostenibilidad organizacional, alineadas al papel que juegan las TICs en el cumplimiento de la Agenda 2030 para el desarrollo sostenible.

Las tecnologías y sistemas de información sostenibles son vistas en dos vertientes: una de éstas es mitigar el efecto de las TI durante su ciclo de vida y la otra es potenciar soluciones tecnológicas que impacten positivamente en otras actividades y sectores.

El estudio de los sistemas y tecnologías de información sostenibles permitió, teniendo en cuenta el ciclo de vida de las TI y SI, definir seis dimensiones fundamentales: uso sostenible; adquisición sostenible; fabricación y desarrollo sostenible; diseño sostenible; gobierno sostenible; y control de reciclaje y residuos.

La utilización de los predicados difusos y su representación a través de árboles difusos permite evaluar integralmente el Nivel de Green IT/IS a través de una estructura jerárquica compuesta por dimensiones y criterios de medidas.

Los resultados de la aplicación del procedimiento en una entidad de las tecnologías de la información y las comunicaciones permitieron calcular y evaluar el Nivel de Green IT/IS. Para el caso de estudio fueron peores evaluadas las dimensiones: diseño sostenible y gobierno sostenible; y los criterios de medidas relacionados con la instalación de switches inteligentes, el despliegue de sistemas de enfriamiento libre, la implantación de tecnologías inteligentes, el uso tecnología ecológica y la gestión de estrategias de Green IT/IS.

Referencias

Andrade, R.A.E., González, E.F., & Caballero, E.G. (2014). Un sistema lógico para el razonamiento y la toma de decisiones: la lógica difusa compensatoria basada en la media geométrica. *Investigación Operacional*, *32*(3), 230-245.

Antelo-González, Y.Y., & Alfonso-Robaina, D. (2015). Análisis de la Responsabilidad Social Empresarial basado en un modelo de Lógica Difusa Compensatoria. *Ingeniería Industrial*, *36*(1), 58-69.

Asadi, S., Hussin, A.R.C., & Dahlan, H. M. (2017). Organizational research in the field of Green IT: A systematic literature review from 2007 to 2016. *Telematics and Informatics*, *34*(7), 1191-1249. https://doi.org/10.1016/j.tele.2017.05.009

Bouchet, A., Pastore, J., Brun, M., & Ballarin, V. (2010, noviembre). Lógica Difusa Compensatoria basada en la media aritmética y su aplicación en la Morfología Matemática Difusa. *TRIC IV Cuarto Torneo Regional de Inteligencia Computacional*. IEEE CIS Computational Intelligence Society, Universidad de Palermo, Buenos Aires.

Cabero-Almenara, J., & Barroso-Osuna, J. (2013). La utilización del juicio de experto para la evaluación de TIC: el coeficiente de competencia experta. *Revista de Pedagogía*, *65*(2), 25-38.

Cejas-Montero, J. (2011). La lógica difusa compensatoria. *Ingeniería Industrial*, *32*(2), 157-161.

CEPAL (2012). *Las tecnologías de la información y de las comunicaciones (TIC) y el desarrollo sostenible en América Latina y el Caribe: experiencias e iniciativas de política*. https://repositorio.cepal.org/bitstream/handle/11362/7062/1/S2013435_es.pdf

Chan, H.K.B., & Johansson, M. (2014). *Green IS – a Systematic Literature Review*. (Tesis de grado). University of Borås, Suecia. https://www.diva-portal.org/smash/get/diva2:1309721/FULLTEXT01.pdf

Chen, E. T. (2019). Green IT and the Struggle for a Widespread Adoption. En Mehdi Khosrow-Pour, D.B.A. (Ed.), *Advanced Methodologies and Technologies in Engineering and Environmental Science*, (pp. 157-166). Massachusetts: IGI Global.

Filho, W.L., Will, M., Salvia, A.L., Adomßent, M., Grahl, A., & Spira, F. (2019). The role of green and Sustainability Offices in fostering sustainability efforts at higher education institutions. *Journal of Cleaner Production*, *232*, 1394-1401. https://doi.org/10.1016/j.jclepro.2019.05.273

Gartner, Inc. (2007, 26 de abril). *Gartner Estimates ICT Industry Accounts for 2 Percent of Global CO2 Emissions*. https://www.gartner.com/en

Khor, K.-S., Thurasamy, R., Ahmad, N.H., Halim, H.A., & May-Chiun, L. (2015). Bridging the Gap of Green IT/IS and Sustainable Consumption. *Global Business Review*, *16*(4), 571-593. https://doi.org/10.1177/0972150915581101

Lai, R S., Hsu, L.-L., Chen, J.C., & Chang, M.D. (2012). A Case Study on Green Information System. *ASBBS Proceedings*, *19*(1), 512-519.

Lamis, J.M., Soler, J.A.P., Delgado, F.M., & García, M.N. (2018). Metodología para priorizar iniciativas de tecnologías de la información sostenibles. *Contaduría y Administración*, *65*(2), 1-19. https://doi.org/10.22201/fca.24488410e.2019.2062

Loeser, F., Recker, J., Brocke, J. vom, Molla, A., & Zarnekow, R. (2017). How IT executives create organizational benefits by translating environmental strategies into Green IS initiatives. *Information Systems Journal*, *27*(4), 503-553. https://doi.org/10.1111/isj.12136

Melville, N.P. (2010). Information systems innovation for environmental sustainability. *MIS quarterly*, *34*(1), 1-21.

Michalus, J.C., Castro, S., William, A., & Hernández-Pérez, G. (2015). Método de expertos para la evaluación ex-ante de una solución organizativa. *Visión de futuro*, *19*(1), 1-17.

Molla, A. (2013). Identifying IT sustainability performance drivers: Instrument development and validation. *Information Systems Frontiers*, *15*(5), 705-723. https://doi.org/10.1007/s10796-013-9415-z

Morales, G. (2002). *Introducción a la lógica difusa*. México: Centro de Investigación y Estudios Avanzados.

Novák, V., Perfilieva, I., & Mockor, J. (2012). *Mathematical Principles of Fuzzy Logic*. Ostrava: Springer Science & Business Media.

Pattinson, C. (2017). ICT and Green Sustainability Research and Teaching. *IFAC-PapersOnLine, 50*(1), 12938-12943. https://doi.org/10.1016/j.ifacol.2017.08.1794

Racet-Valdés, A., Espinosa-González, L., Suárez-Quintana, J., Sánchez-Pérez, Y., Alfonso-Robaina, D., & Martínez-Pérez, E. (2017). Modelo matemático para medir el nivel de servicio al cliente basado en la lógica difusa compensatoria. *Ingeniería Industrial*, *38*(2), 193-200.

Sarache-Castro, W.A., Costa-Salas, Y.J., & Martínez-Giraldo, J.P. (2015). Environmental performance evaluation under a green supply chain approach. *DYNA*, *82*(189), 207-215. https://doi.org/10.15446/dyna.v82n189.48550

Saunila, M., Nasiri, M., Ukko, J., & Rantala, T. (2019). Smart technologies and corporate sustainability: The mediation effect of corporate sustainability strategy. *Computers in Industry*, *108*, 178-185. https://doi.org/10.1016/j.compind.2019.03.003

Villa, A. (2019). *Generación automática inteligente de resúmenes de textos con técnicas de soft computing* (Tesis doctoral). Universidad Nacional de La Plata, Buenos Aires. https://ruidera.uclm.es/xmlui/bitstream/handle/10578/22270/TESIS%20Villa%20Monte.pdf?sequence=1&isAllowed=y

Xu, J., & Zhou X. (2011). *Fuzzy-Like Multiple Objective Decision Making*. Berlín: Springer.

Zadeh, L.A., Klir, G.J., & Yuan, B. (1996). *Fuzzy Sets, Fuzzy Logic, and Fuzzy Systems*. Singapore: World Scientific.

REVISTA DE MÉTODOS CUANTITATIVOS PARA LA ECONOMÍA Y LA EMPRESA (33). Páginas 169-190.
Junio de 2022. ISSN: 1886-516X. D.L: SE-2927-06.
www.upo.es/revistas/index.php/RevMetCuant/article/view/5171

¿Influye la corrupción percibida en el mercado de seguros de crédito en España? Un análisis mediante la herramienta Google Trends

NAVEIRA GALLEGO, JUDIT
Universidad de León
Correo electrónico: jnaveg00@estudiantes.unileon.es

GONZÁLEZ-FERNÁNDEZ, MARCOS
Universidad de León
Correo electrónico: mgonf@unileon.es

RESUMEN

En este estudio, se realiza un análisis del efecto de la corrupción percibida en la actividad del mercado de seguros de crédito o CDSs en España en el periodo comprendido entre los años 2008 y 2018. Para medir la corrupción percibida se utiliza la herramienta Google Trends para la palabra "corrupcion". Por su parte, para medir la actividad del mercado de CDSs, se utiliza la evolución de los Credit Default Swaps o CDSs a 5 años. Posteriormente, se realiza un análisis empírico a través de la metodología de regresión y el análisis out-of-sample para comprobar la capacidad predictiva del modelo. Los resultados muestran que la corrupción percibida es influyente en la evolución de los CDSs y que su influencia es mayor en los años en los que la economía del país no atraviesa una crisis.

Palabras clave: corrupción percibida, Google Trends, actividad del mercado de CDSs, análisis out-of-sample.
Clasificación JEL: D73; H63; G40.
MSC2010: 91G40; 91G70; 62P20.

Artículo recibido el 23 de julio de 2020 y aceptado el 21 de julio de 2021.

Does perceived corruption influence the credit insurance market in Spain? An analysis using the Google Trends tool

ABSTRACT

In this paper, we perform an analysis about the effect of the perception of corruption in the activity of the credit insurance or CDS market in Spain during the period between 2008 and 2018. To measure the perception of corruption, we use Google Trends tool for the keyword "corrupcion". On the other hand, to proxy the activity of the CDS market, we use the evolution of the 5-year CDSs. Subsequently, an empirical analysis is carried out through regression methodology and out-of-sample analysis to verify the predictive capacity of the model. The results show that perceived corruption impacts the evolution of CDSs, and its influence is greater in the years in which the country's economy does not face a crisis.

Keywords: perceived corruption, Google Trends, CDS market activity, out-of-sample analysis.
JEL classification: D73; H63; G40.
MSC2010: 91G40; 91G70; 62P20.

"The evil of corruption reaches into every corner of the world. It lies at the heart of the most urgent problems we face: from economic uncertainty, to endemic poverty, to the ever-present threat of radicalisation and extremism". (David Cameron, ex-primer ministro británico, citado en el *New York Times, 12 de mayo de 2016*)

1. Introducción

En España existe una elevada percepción de la corrupción (Villoria & Jiménez, 2012). Además, ésta es un problema sustancial para el crecimiento económico, así como un obstáculo para la inversión (Mauro, 1995; Shleifer & Vishny, 1993). Este fenómeno detrae multitud de recursos e impide que se empleen en aquellos sectores más productivos de la economía. En este sentido, el efecto de la corrupción en el crecimiento económico se ha investigado por numerosos autores exhaustivamente a lo largo de las últimas décadas (Mauro, 1995; Mo, 2001). Si bien estos estudios no niegan que en algunos momentos la corrupción haya jugado un papel positivo en determinados países concretos, los principales hallazgos indican que la corrupción tiende a conducir a un menor crecimiento, obstaculizando el gasto de la inversión, tanto privado como gubernamental, e inhibiendo la eficiencia de servicios públicos (Aidt, 2003; Svensson, 2005). Por todo ello la corrupción se muestra como uno de los fenómenos sobre el que la población española muestra una mayor preocupación.

Por otro lado, si la corrupción ha sido y es un perjuicio para el desarrollo económico, el riesgo soberano, es decir, el posible riesgo de que un estado quiebre en relación a su deuda soberana, no lo ha sido menos. A raíz de la reciente crisis de deuda soberana han sido varios los trabajos que han analizado esta variable (Arghyrou & Kontonikas, 2012; Huixin, 2012; Sgherri & Zoli, 2009).

Aunando estos dos conceptos, algunos estudios han analizado el impacto de la corrupción sobre el riesgo soberano (Chakrabarti & Zeaiter, 2014; Paserman, 2017). Sin embargo, las variables que se utilizan para medir la percepción de la corrupción suelen ser variables de baja frecuencia, generalmente índices de percepción de la corrupción de frecuencia anual, lo que limita la capacidad de los análisis y restringe e gran medida las técnicas estadísticas a aplicar ya que para medir el riesgo soberano se suele utilizar la actividad del mercado de seguros de crédito o *Credit Default Swaps* (en adelante CDSs). El mercado de seguros de crédito refleja la percepción del riesgo soberano y se utiliza frecuentemente en la literatura (Ammer & Cai, 2011; Ejsing & Lemke, 2011, entre otros). No obstante, la alta frecuencia de esta variable impide que pueda relacionarse con las medidas tradicionales de percepción de la corrupción anteriormente indicadas. Es por ello que, a diferencia de estudios previos, en este estudio se trata de resolver esta limitación y se utiliza una variable de mayor frecuencia para aproximar la corrupción percibida y que se basa en una herramienta frecuentemente usada en la literatura como son los datos provenientes de *Google Trends,* que se han llegado a denominar por algunos autores como *Google Econometrics* (Fondeur & Karamé, 2013). Esta herramienta permite sintetizar en un único indicador un gran volumen de datos sobre las búsquedas de Google, constituyendo de esta forma una nueva fuente de *big data* (Jun et al., 2018). Concretamente, se obtiene el índice de búsquedas de la palabra "corrupcion" como medida de la preocupación o atención sobre la misma con una frecuencia semanal.

Por tanto, el presente trabajo presenta diferentes aportaciones a la literatura. En primer lugar, se proporciona un nuevo *proxy* o variable para medir la percepción corrupción que, además, presenta la ventaja de ser una variable de alta frecuencia que permite analizar el impacto de la percepción de la corrupción sobre otras variables de alta frecuencia. En segundo lugar, se proporciona evidencia sobre el impacto de esta corrupción percibida en la actividad del mercado de CDSs en España. En este sentido se espera que un incremento en las búsquedas de la palabra "corrupcion" implique una mayor preocupación por ésta y esto conlleve una mayor percepción del riesgo soberano, medido a través de la actividad del mercado de CDSs, es decir, se espera una relación directa entre ambas variables a priori. Finalmente, el trabajo proporciona un análisis de predicción de la actividad del mercado de CDSs mediante un análisis *out-of-sample* para conocer si la inclusión de las búsquedas de Google de la palabra "corrupcion" permite pronosticar los valores de los CDSs soberanos de España.

A modo de resumen, los resultados indican que existe una relación positiva entre la corrupción percibida y la actividad del mercado de CDSs, como era esperado. Además, el análisis demuestra la capacidad predictiva del modelo. Por tanto, en este estudio se ha demostrado que la herramienta *Google Trends* sirve como indicador de la preocupación o atención de los individuos en línea con estudios previos que han demostrado esta relación en diferentes campos de estudio (Chen, 2017; Han et al., 2017;

McLaren & Shanbhogue, 2011; Siganos, 2013; Vozlyublennaia, 2014, entre otros). Concretamente, en nuestro trabajo se ha demostrado que los datos de *Google Trends* de nuestra palabra clave, "corrupción", pueden ayudar a predecir la evolución de la actividad del mercado de CDSs en España, incluso mejorando la predicción del modelo autorregresivo de los CDSs, que es, a priori, la mejor predicción esperada.

El resto de este estudio está estructurado de la siguiente manera. En la segunda sección se realiza una revisión de la literatura en relación al fenómeno de la corrupción, cómo se mide éste, así como un análisis del mecanismo por el cual la corrupción influye en el riesgo soberano. Posteriormente, en la sección 3, se muestran los datos y la forma de obtención de los mismos con los que llevar a cabo el análisis empírico. En la sección 4, se realiza el análisis empírico y se muestran los principales resultados extraídos tanto del análisis de regresión como del análisis *out-of-sample*. Finalmente, se presentan las principales conclusiones obtenidas de la realización de este estudio en la sección 5.

2. Revisión de la literatura

En esta sección del trabajo se realiza un breve repaso de la literatura en relación a los temas que se abordan en este estudio. En concreto, se resumen los principales trabajos que analizan la corrupción y cómo se mide este fenómeno, así como el riesgo soberano. También se analiza la relación entre ambos conceptos.

2.1. La corrupción y su relación con el riesgo soberano

A continuación, se resume brevemente en qué consiste el fenómeno de la corrupción, así como las formas en las que se puede medir este fenómeno. Asimismo, se sintetizan aquellos trabajos que vinculan la corrupción con el riesgo soberano, además de explicar brevemente la influencia que este fenómeno tiene sobre la economía de un país en general.

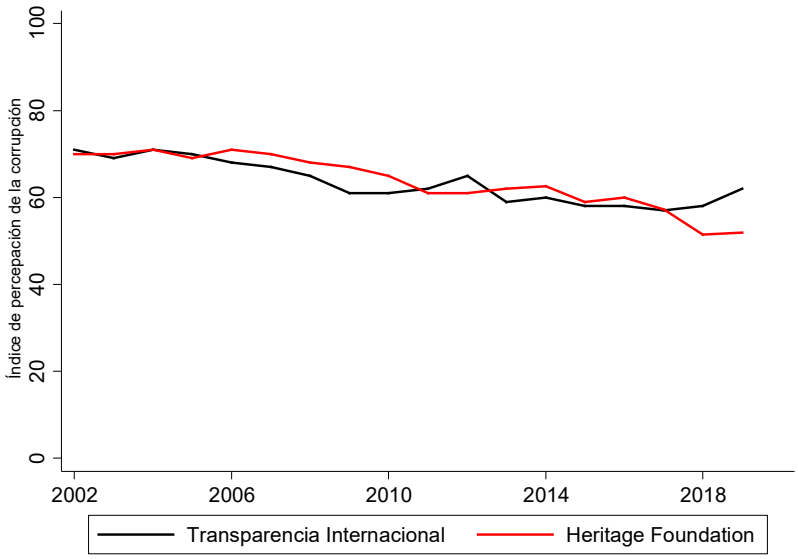
2.1.1. El fenómeno de la corrupción: ¿qué es y cómo se mide?

La corrupción es uno de los principales problemas a los que se enfrenta una sociedad (Poveda & Acosta, 2016). A pesar de que es difícil de determinar una definición concreta de la corrupción, existe un consenso en que la corrupción es un acto en el que se emplean los poderes públicos para obtener ganancias personales eludiendo las reglas de juego (Jain, 2001). Basándose en esta definición, Aidt (Aidt, 2003) establece que se han de cumplir las siguientes condiciones para que se lleve a cabo la corrupción: el uso discrecional del poder, la existencia de rendimientos económicos y la debilidad de las instituciones públicas. Existe también un consenso entre los autores que han investigado este tema respecto a los determinantes de la corrupción. Éstos se agrupan en diferentes categorías: de tipo económico, de tipo cultural y de tipo político legal, siendo esta última la que mayor correlación presenta con la corrupción. Así, el nivel de corrupción depende del equilibrio existente entre los costes asociados al acto de corrupción (costes sociales y psicológicos: cultura, religión, etc., además del castigo o sanción en caso de ser detectados) y el beneficio obtenido del mismo. Sus resultados indican que los países protestantes, de origen legal inglés o antecedentes culturales británicos, así como los estados con un mayor nivel de desarrollo económico presentan menores índices de corrupción (Treisman, 2000).

Para medir la corrupción se utilizan índices de percepción de la corrupción cuya frecuencia es anual. Posiblemente, el más conocido sea el creado por Transparencia internacional, que sirve para medir las percepciones sobre corrupción en el sector público en distintos países del mundo. Este índice se mueve en una escala de 0 a 100, donde 0 equivale al nivel más alto de percepción de corrupción y 100 implica el nivel más bajo de percepción de la corrupción. Teniendo esto en cuenta, Transparencia Internacional indica que un país de las características económicas de España, que se sitúa entre las primeras 15 economías del mundo, debería tener un valor por encima de 70 puntos en el Índice de Percepción de la Corrupción si quiere mantener su imagen y su competitividad (Transparency

International, 2019). Otro índice de percepción de la corrupción, es el elaborado por la *Heritage Foundation*. Concretamente esta fundación mide lo que denominan *government integrity,* cuyos datos son similares a los del índice de Transparencia Internacional. En la Figura 1 se puede observar la evolución de estos dos índices de manera conjunta. Se aprecia una evolución similar de ambos y se observa que España lleva más de 10 años sin alcanzar el valor recomendado por Transparencia Internacional, es decir, desde hace una década se sitúa por debajo de los 70 puntos.

Figura 1. Evolución de los principales índices de percepción de la corrupción en España.



Fuente: Elaboración propia a partir de datos de Transparencia Internacional y de Heritage Foundation.

Sin embargo, estos índices se presentan con periodicidad anual lo que impide que puedan usarse en estudios que requieran de datos de alta frecuencia. Por tanto, para el objetivo de nuestro trabajo y tal como se ha indicado, se recurre a la herramienta de *Google Trends* para obtener datos relativos a la percepción de la corrupción de una frecuencia superior.

En este sentido, *Google Trends* es una herramienta de Google que proporciona un índice de actividad de búsquedas por consulta o categoría de consulta. Esta herramienta, creada por Google en el año 2006, permite analizar la atención de la población en relación a un término, así como la evolución de la atención con respecto a ese término a lo largo del tiempo (Stephens-Davidowitz & Varian, 2015). Esto hace que numerosos autores hayan utilizado esta herramienta como predicción de algún factor concreto, no solo dentro del ámbito financiero (Da et al., 2011, 2015; Dergiades et al., 2015; Dzielinski, 2012; Vozlyublennaia, 2014) o para aproximar variables económicas como el desempleo (D'Amuri & Marcucci, 2017; Fondeur & Karamé, 2013; González-Fernández & González-Velasco, 2018; McLaren & Shanbhogue, 2011) sino para otros campos de estudio, como psiquiatría (Cervellin et al., 2017; Ginsberg et al., 2009; Solano et al., 2016) o medicina (por ejemplo, cabe destacar el reciente trabajo de Stephens-Davidowitz (2020), en el que estudia cómo Google Trends puede ayudar a predecir los rebrotes de COVID-19 a través de las búsquedas de la palabra "anosmia", ya que es uno de los principales síntomas asociados a la enfermedad).

Este índice no mide el número total de búsquedas, sino la fracción de esas búsquedas que contienen el término escogido en el espacio geográfico elegido en un momento determinado en relación con el número total de consultas en ese momento en ese mismo espacio geográfico. El valor máximo de este índice se establece en 100, representando este valor la máxima intensidad de búsqueda de un término. Cabe destacar, también que si Google Trends muestra que un término de búsqueda ha

disminuido con el tiempo, esto no significa necesariamente que haya menos búsquedas ahora de las que hubo previamente, sino que hay menos búsquedas en relación al total de búsquedas ya que en términos absolutos las búsquedas han aumentado con el tiempo en prácticamente todos los temas. Además, Google Trends tiene un umbral de relevancia por debajo del cual la herramienta reporta el valor 0. Por lo tanto, los términos menos buscados mostrarán ceros más frecuentemente, como también lo harán los períodos de tiempo más antiguos. En este sentido, el período utilizado para la realización del estudio se ha escogido teniendo también esto en cuenta, ya que el periodo más significativo se inicia tras el año 2008 (Stephens-Davidowitz & Varian, 2015).

Por tanto, se utilizan las búsquedas de *Google Trends* referidas a la palabra "corrupcion" para obtener un indicador de alta frecuencia que nos permita realizar el posterior análisis empírico.

2.1.2. Efectos de la corrupción sobre el riesgo soberano

Antes de analizar el efecto que la corrupción percibida causa sobre el riesgo soberano, primero se ha de tener en cuenta el efecto que la misma tiene sobre la economía de un país en general. En este sentido, el Banco Mundial estima que en el mundo se pagan unos mil millones de dólares en sobornos con fines corruptos cada año. Las consecuencias económicas y sociales de esta situación son considerables. Por esta razón, James D. Wolfensohn convirtió la corrupción en una de las mayores prioridades durante su paso por la presidencia del Banco Mundial en 1996. Los estudios han examinado repetidamente la relación de la corrupción y el desarrollo económico. En este sentido, si se dan las condiciones adecuadas para un buen gobierno, a través el adecuado control de la corrupción, se promueve el desarrollo económico. Por otro lado, un gobierno que no previene la corrupción puede perjudicar el progreso económico del país. Como resultado, la corrupción se ha considerado una barrera para la economía del desarrollo y ha sido abordada predominantemente por organizaciones dedicadas a los desafíos de las políticas de desarrollo (Vargas & Sommer, 2014). Estos autores sugieren que se pueden formular cuatro hipótesis basadas en el impacto de la corrupción en la política, la economía, el sistema legal y la sociedad: i) la corrupción es un indicador de una economía sumergida y de fraude fiscal; ii) la corrupción es un signo de inmadurez socioeconómica, capacidad insuficiente para la reforma política y falta de cohesión social; iii) la corrupción es un signo de mala gestión económica; iv) la corrupción indica un riesgo de manipulación estadística. Un ejemplo muy claro de la influencia de la corrupción en la economía de un país es Grecia, al que muchos expertos han tomado como ejemplo de mala gestión económica, atribuyéndole a la corrupción un gran efecto sobre la crisis que sufrió el país heleno a partir del año 2009 (Ikonomou, 2018).

Asimismo, la corrupción debilita a las instituciones responsables de la gestión macroeconómica. En este sentido, es necesario que una sociedad apoye las reformas políticas y económicas necesarias para que el gobierno pueda reducir los niveles de deuda y fomentar el crecimiento económico. La alta corrupción limita la capacidad de un país para implementar tales reformas porque socava la confianza pública en su liderazgo. Por tanto, la corrupción afecta al riesgo soberano a través de su implicación sobre el crecimiento económico de un país en general y por la capacidad del mismo para financiarse y, por tanto, para hacer frente a sus obligaciones de deuda. A lo largo de los años, se ha desarrollado un gran debate acerca de los efectos de la corrupción en la inversión, desarrollo y crecimiento económico (Mauro, 1995; Shleifer & Vishny, 1993), y se considera que la corrupción juega un importante papel en las crisis financieras (Ciocchini et al., 2003).

También se ha establecido que la solvencia crediticia de un país está vinculada a la corrupción a través de la capacidad del gobierno y su disposición a pagar deuda. Es decir, una mayor corrupción disminuye la recaudación de impuestos del gobierno y, por consiguiente, sus ingresos. Esto se traduce en una menor capacidad del gobierno para hacer frente a su deuda (Johnson et al., 1997). La corrupción también está asociada con la mala ubicación de los recursos, que puede ser perjudicial para el crecimiento económico y afectar a la solvencia (Depken et al., 2011).

Debido a la falta de un código de bancarrota que proteja a los compradores de bonos soberanos en caso de incumplimiento, canjear la deuda del país es principalmente una decisión política y depende

de la voluntad de las personas que tienen el poder para pagarla. Los países más corruptos ofrecen menos protección legal durante los períodos de normalidad y son más propensos a violar los derechos de los inversores durante las crisis (ver, por ejemplo, Lee & Ng (2009), que analizan el efecto de la corrupción en el valor de la empresa). Adama (2016) estudia el efecto de la corrupción en el reembolso de la deuda y el incumplimiento bajo diversas condiciones del mercado. Ese estudio muestra que las fluctuaciones del nivel de corrupción y el ciclo económico en su conjunto afectan a las decisiones de endeudamiento y de incumplimiento y esa corrupción amplifica el efecto de los golpes negativos. Además, los funcionarios corruptos pueden confiscar préstamos u otras fuentes de ingresos del gobierno, lo que limita la capacidad de éste para satisfacer sus obligaciones de deuda. Los funcionarios pueden estar dispuestos a pedir prestados fondos sustanciales (incluso a elevados tipos de interés) para tener la oportunidad de robar parte de estos, o su totalidad (Ciocchini et al., 2003; Shleifer & Vishny, 1993).

En este sentido, las preocupaciones con respecto a los impagos de deuda soberana han ido en aumento durante este milenio. Aunque la crisis financiera de 2008 golpeó sobre las posibles causas y remedios del incumplimiento de deuda, el primer caso registrado se remonta al siglo IV a.C., cuando más de las tres cuartas partes de los municipios griegos no fueron capaces de cumplir con sus obligaciones de deuda con el templo de Delos (Winkler, 1933). Desde entonces, muchos países se han enfrentado a las dificultades de pagar su deuda. Sin embargo, la década pasada fue testigo de una gran acumulación de deuda externa global, que se disparó de 2 billones de dólares en el año 2000 a 60 billones de dólares en el año 2011. En consecuencia, la proporción que la deuda externa representaba en el PIB aumentó de 4.57 % en el año 2000 a 72.5 % en el año 2011 y la deuda externa per cápita aumentó de 329 dólares a 8.700 en el período comprendido entre los citados años. Durante este período, el mayor incremento anual de la deuda externa fue en 2005, año en el que se multiplicó por más de 5 veces el dato del año 2004 (Chakrabarti & Zeaiter, 2014). Con el fuerte aumento del riesgo de incumplimiento de deuda de muchos países del mundo, no es sorprendente que una gran parte de la investigación continúe analizando los posibles determinantes de este riesgo, pero existe una falta de consenso general sobre las conclusiones alcanzadas por la amplia gama de estudios empíricos sobre la importancia relativa y la dirección del impacto de los determinantes potenciales del incumplimiento soberano. Esto se debe a las amplias diferencias entre las perspectivas, las metodologías, la selección de muestras y las herramientas analíticas utilizadas para llevar a cabo el estudio. No obstante, la mayor parte de los expertos, que han realizado estudios de ambas variables, coinciden en manifestar la existencia de una relación entre corrupción percibida y la actividad del mercado de CDSs.

Por tanto, los estudios existentes establecen que la corrupción percibida afecta a la actividad del mercado de CDSs a través de dos relaciones: i) afectando negativamente al crecimiento económico de España y, de esta forma, empeorando las perspectivas económicas del país y ii) limitando la capacidad del gobierno para financiarse y aumentando los problemas de éste para devolver su respectiva deuda.

3. Datos

A continuación, se resumen brevemente los datos empleados y se realiza un análisis estadístico preliminar de los mismos.

3.1. Corrupción (*Google Trends)*

Para medir la corrupción percibida, se han utilizado los datos extraídos de la herramienta *Google Trends,* disponible en http://www.google.com/trends/. Concretamente, se ha obtenido lo que se conoce como *Google Search Volume Index* (en adelante GSVI), que es el índice que proporciona Google. En este sentido, es importante resaltar que el GSVI no representa el número total de búsquedas, sino que es un índice relativo que oscila entre 0 y 100, indicando el valor 100 la máxima intensidad de búsqueda de un término. Para obtener este índice, Google divide el volumen de búsquedas que contienen el término j en el instante t ($V_{j,t}$) entre una muestra aleatoria de todas las búsquedas a para el mismo período t ($V_{a,t}$). Posteriormente esa ratio es normalizada para lo cual se multiplica por un factor de

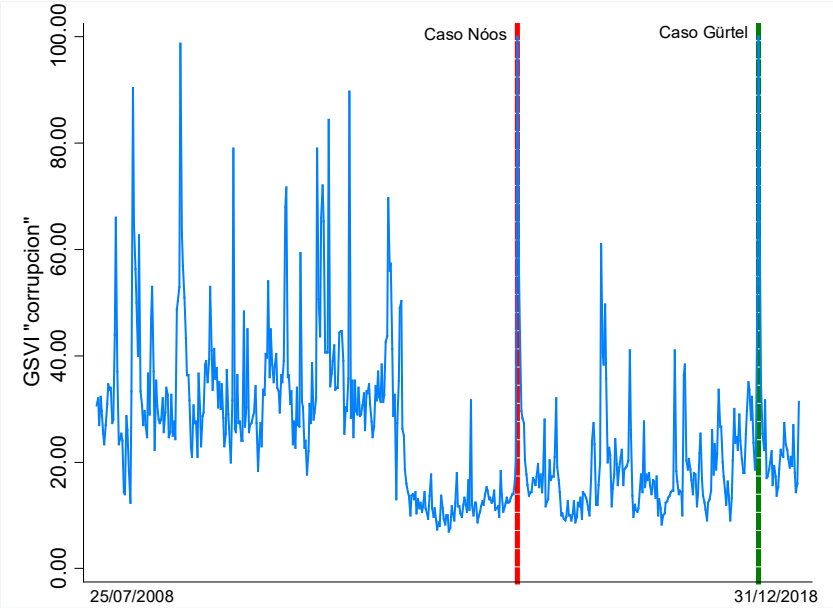
normalización en el que *r** representa el valor máximo del primer cociente (Dergiades et al., 2015), tal y como se muestra en la ecuación (1).

$$GSVI_t = \frac{V_{j,t}^S}{V_{a,t}^S} \times \frac{100}{r^*} \quad [1]$$

Obviamente, un elemento fundamental en el proceso de obtención de los datos de Google Trends es la elección de la palabra o palabras clave. Para la realización de este estudio, se ha seleccionado la palabra "corrupcion". Se ha usado la palabra "corrupcion", sin tilde, ya que es frecuente que los usuarios omitan tildes al realizar las búsquedas al priorizar la velocidad a la correcta utilización de la ortografía (Lyddy et al., 2014). Los resultados usando la palabra "corrupción", con tilde, no difieren de los presentados en el trabajo. En concreto, se han descargado los datos de Google Trends con una frecuencia semanal entre enero y diciembre del año 2008. Para aumentar la velocidad de respuesta, Google utiliza una muestra aleatoria en lugar del número total de búsquedas (Da et al., 2015). Por lo tanto, los datos de Google descargados en diferentes momentos del tiempo pueden diferir ligeramente. Para solucionar este problema, se han descargado los datos en tres fechas diferentes (26, 27 y 28 de marzo de 2020) y se ha usado el valor promedio. Estos valores tienen unas correlaciones superiores al 94%, por lo que la variación entre los mismos es mínima. Además, los datos se han filtrado por territorio y se refieren únicamente a las búsquedas realizadas en el territorio español ya que Google permite filtrar los resultados geográficamente basándose en la dirección IP de los usuarios. En la Figura 2 se puede observar la evolución de las búsquedas semanales de la palabra "corrupción" procedente de Google Trends desde el año 2008 hasta el año 2018.

La figura muestra cómo existen diferentes picos en las búsquedas, que coinciden con eventos relacionados con casos de corrupción en España. Así, en el año 2009, fueron detenidas 252 personas por corrupción en España, con estallidos de casos como "Pretoria" o "Palma Arena", además del caso "Gürtel". Posteriormente, el pico en las búsquedas en el año 2015 se debe a declaraciones previstas a lo largo de dicho año en varios de los casos de corrupción más importantes en España, tales como el caso "Nóos", el caso "Rato" o el caso de "Los Pujol". El otro máximo de la figura, el 27 de mayo de 2018, se explica gracias a la sentencia de la red corrupta "Gürtel", que tuvo lugar en la citada fecha.

Figura 2. Evolución del GSVI para la palabra "corrupcion".

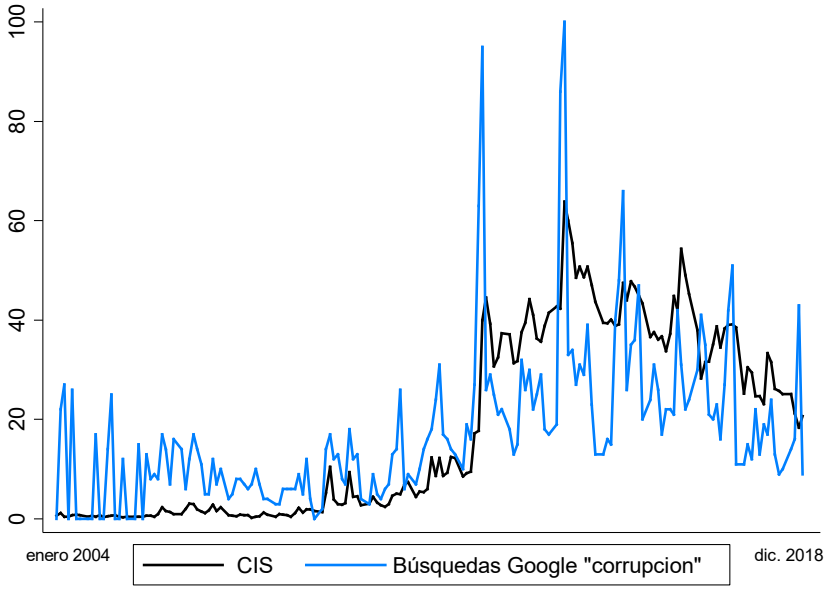


Fuente: Elaboración propia a partir de datos de *Google Trends.*

Cabe preguntarse si esta medida de la corrupción percibida a través de Google Trends realmente mide la percepción de la corrupción en España. Para comprobar si esto es así, en la Figura 3 se ha representado la serie del GSVI mensual de la palabra "corrupcion" junto con otra forma de medir la preocupación de la población por la corrupción en España: el informe del CIS. Este informe señala los problemas que la sociedad española considera más importantes en cada momento. Es necesario destacar que la encuesta del CIS está disponible con periodicidad mensual con la excepción del mes de agosto de cada año. Por tanto, para poder comparar ambas series se ha eliminado también el dato del mes de agosto de cada año referente al GSVI. Como se puede comprobar, la tendencia de la preocupación por la corrupción del CIS es muy similar a la del GSVI para la palabra "corrupción". Concretamente, la correlación entre las series es del 94%. Por ello, se puede determinar que la herramienta *Google Trends* nos proporciona datos fiables de la preocupación de la población en materia de corrupción.

Además, en la Figura 4 se puede observar la evolución anual del GSVI para la palabra corrupción (eje derecho), calculada como el promedio anual de los datos mensuales, ya que no es posible obtener el GSVI con periodicidad anual, junto con los índices anuales de percepción de la corrupción elaborados por Transparencia Internacional y por *Heritage Foundation* (eje izquierdo). Es necesario puntualizar que la interpretación de estos índices implica que un mayor valor en el índice representa una menor percepción de la corrupción, mientras que un mayor GSVI indica una mayor atención o preocupación por la corrupción. Por tanto, a priori se espera una relación inversa entre los índices y el GSVI. La evolución de las series confirma esta hipótesis. Concretamente, las correlaciones entre el GSVI y los índices de percepción de la corrupción de Transparencia Internacional y de *Heritage Foundation* son del -71% y -57% respectivamente.

Figura 3. Evolución de la preocupación de la población por la corrupción.

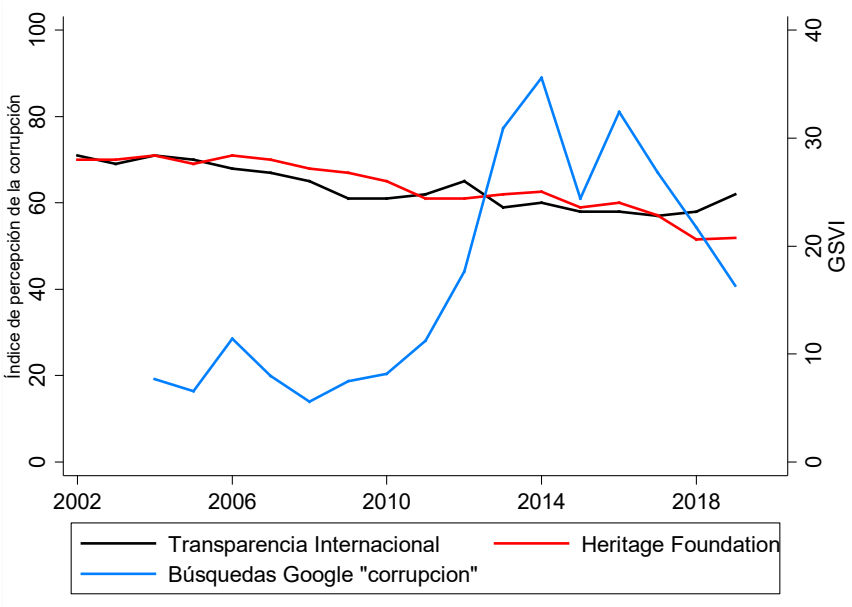


Fuente: Elaboración propia a partir de datos de *Google Trends* y del CIS.

También es necesario destacar que se ha considerado utilizar otras palabras en lugar de "corrupcion". En este sentido, se planteó la posibilidad de usar las palabras "españa corrupcion" o "corrupcion politica". Los tres conceptos tienen una tendencia similar. Sin embargo, las expresiones "españa corrupcion" y "corrupcion politica" muestran un elevado número de ceros en la serie de datos procedente de Google Trends. Por tanto, se ha considerado que la palabra "corrupcion" es la más adecuada y, además, es la que presenta una mayor correlación a priori con la actividad del mercado de CDSs. Además, el término "corrupcion" es lo suficientemente concreto y su significado es inequívoco

e invariante a lo largo del tiempo, que son los principales requisitos que ha de tener la palabra clave cuando se utilizan datos de Google Trends (Dzielinski, 2012).

Figura 4. Evolución anual de los índices de percepción de la corrupción de Transparencia Internacional y Heritage Foundation en España junto con el GSVI para la palabra "corrupcion".



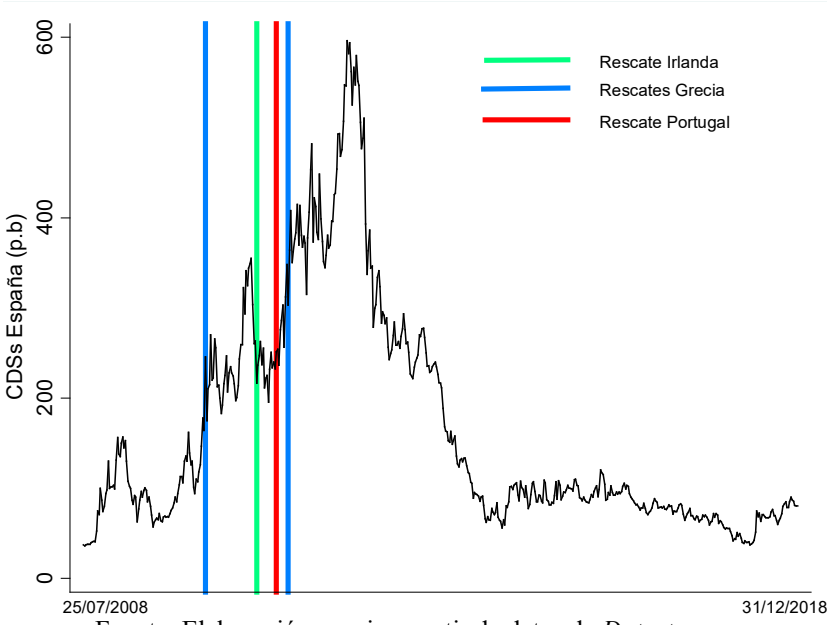
Fuente: Elaboración propia a partir de datos de Transparencia Internacional, Heritage Foundation y *Google Trends.*

3.2. Riesgo soberano y el mercado de seguros de crédito (CDSs)

Los bonos soberanos son la principal forma de financiación para los estados y se han convertido en una importante clase de activos en carteras. Muchos mercados emergentes dependen del capital extranjero para su desarrollo y para cubrir necesidades financieras, confiando en entradas de fondos a través de los mercados internacionales de bonos (Panizza et al., 2009). Así, el riesgo soberano hace referencia al riesgo de que se produzca un impago de esos bonos. Para aproximar la percepción del riesgo soberano se suelen utilizar los datos relativos al mercado de seguros de crédito o CDSs. Concretamente, se utiliza la actividad del mercado de CDSs a 5 años, ya que son los más comúnmente usados en la literatura (Ammer & Cai, 2011; Arce et al., 2013; Kalbaska & Gatkowski, 2012, entre otros) así como los más líquidos y eficientes (Téllez et al., 2020). Los datos se han obtenido de *Datastream* con una frecuencia semanal, debido a que es la frecuencia temporal utilizada en otros estudios (Paserman, 2017) para el horizonte temporal desde el 25 de julio del año 2008 hasta el 31 de diciembre del año 2018.

Cabe destacar que los CDSs representan un tipo de derivado financiero que brinda al comprador protección contra el incumplimiento y otros riesgos. En este contrato, el comprador realiza pagos periódicos al vendedor hasta la fecha de vencimiento del crédito, y el vendedor se compromete a pagar al comprador todas las primas e intereses que se habrían pagado hasta la fecha de vencimiento en caso de que el emisor de la deuda incumpla sus obligaciones de pago, en este caso, si el gobierno de España no tiene capacidad suficiente para hacer frente a su deuda (Corporate Finance Institute, 2020).

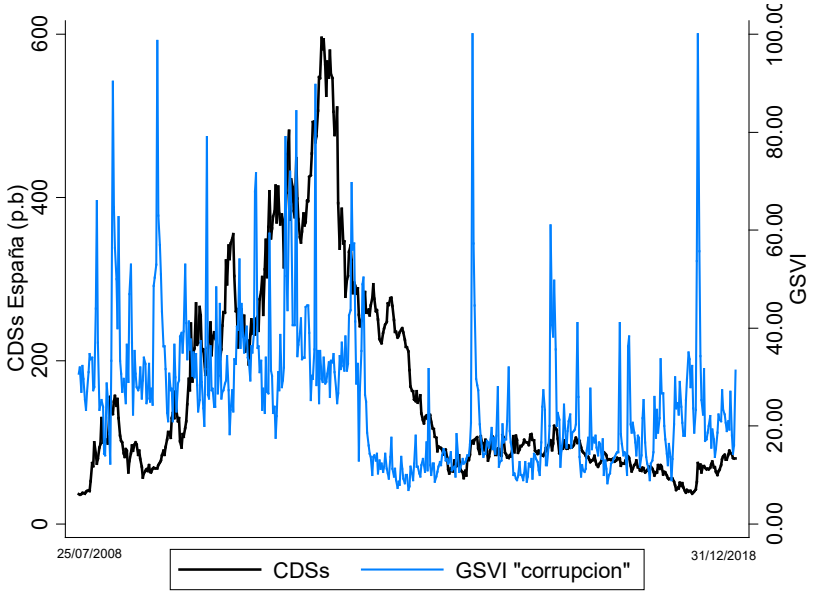
Figura 5. Evolución de los CDSs a 5 años.



Fuente: Elaboración propia a partir de datos de *Datastream.*

En la Figura 5 se muestra la evolución de los CDSs a 5 años españoles durante el período analizado. Como se puede observar, el precio de los CDSs comenzó a aumentar con el estallido de la crisis de 2008 y, especialmente, tras la crisis de deuda soberana que afectó principalmente a Grecia, Portugal, Irlanda y España en torno a los años 2010 y 2011. Desde ese momento, se observa una reducción en el valor de los CDSs en consonancia con la recuperación del país. Finalmente, en la Figura 6 se muestra la evolución las dos series objeto de estudio de forma conjunta, es decir, la evolución de CDSs a 5 años en España y el GSVI para la palabra "corrupcion".

Figura 6. Evolución de CDSs a 5 años y el GSVI para la palabra "corrupcion".



Fuente: Elaboración propia a partir de datos de *Datastream* y *Google Trends.*

4. Análisis empírico

En este apartado, se analiza empíricamente cómo afecta la corrupción percibida a la actividad del mercado de CDSs. Para ello, se realiza, en primer lugar, un análisis descriptivo y, posteriormente, un análisis de regresión y un análisis *out-of-sample*.

4.1. Análisis descriptivo

Antes de realizar el análisis empírico, en la Tabla 1 se muestran los principales estadísticos descriptivos de las variables objeto del estudio. La tabla muestra los estadísticos descriptivos de CDSs soberanos de España a 5 años y el Google Search Volume Index (GSVI) semanal para la palabra "corrupción". Se observa que la muestra cuenta con un total de 545 observaciones semanales. Los CDSs han tenido un valor medio de 163,68 p.b. con una elevada desviación típica, probablemente como consecuencia de la crisis financiera y la crisis de deuda soberana que provocaron una elevada volatilidad entre los años 2008 y 2012. El punto máximo se alcanza el 1 de junio del año 2012 con 595,94 p.b., a partir de entonces la crisis de deuda soberana se relaja hasta valores más habituales.

Tabla 1. Estadísticos descriptivos.

Variable	N	Media	Desv. Típica	Min.	Max.	Mediana
GSVI "corrupcion"	545	25,65	14,89	7	100	23,33
CDSs	545	163,68	125,67	36	595,94	100

Fuente: Elaboración propia.

En la Tabla 2 se muestra la correlación entre el precio de los CDSs y el GSVI para nuestra palabra "corrupcion". La tabla muestra la correlación entre los valores semanales de los CDSs soberanos de España a 5 años y el Google Search Volume Index (GSVI) semanal para la palabra "corrupción". El horizonte temporal comprende el periodo desde el 25 de julio de 2008 hasta el 31 de diciembre de 2018. Tal y como se esperaba, la correlación entre ambas variables es positiva y significativa. Por tanto, el signo positivo de la correlación indica que, a priori, un incremento de las búsquedas de la palabra "corrupcion" implica un incremento de la actividad del mercado de CDSs.

Tabla 2. Correlación entre GSVI "corrupcion" y los CDSs.

	GSVI "corrupcion"	CDSs
GSVI "corrupcion"	1.00	
CDSs	0,2946***	1.00

*** Significativo al 1%
** Significativo al 5%
* Significativo al 10%.

Fuente: Elaboración propia.

4.2. Análisis de regresión

Para profundizar en el análisis de la relación entre el GSVI de la palabra "corrupcion", que permite aproximar la corrupción percibida, y la actividad del mercado de CDSs, a continuación se ha realizado un análisis de regresión sobre la el valor de los CDSs teniendo en cuenta las búsquedas de la palabra "corrupción" como variable explicativa. El modelo inicial tiene la siguiente forma:

$$CDSs_t = \alpha + \beta_1 GSVI\ "corrupcion"_t + \varepsilon_t \quad [2]$$

donde $CDSs_t$ es la variable dependiente y sobre la que se va a realizar la regresión, α es la constante del modelo, $\beta_1 GSVI\ "corrupcion"_t$ representa el GSVI de la palabra "corrupcion" y ε_t es el término de error. Una vez se ha establecido el modelo, se aplica a los datos existentes y se obtienen los resultados que se muestran en la Tabla 3. La tabla muestra los resultados de la regresión del GSVI de la palabra "corrupcion" sobre los CDSs soberanos de España a 5 años. Los errores robustos estándar se muestran en paréntesis. RECM indica la Raíz del Error Cuadrático Medio.

Tabla 3. Análisis de regresión del GSVI de la palabra "corrupcion" sobre los CDSs.

Variable dependiente: CDSs soberanos de España a 5 años	Modelo
GSVI "corrupción"	2,485***
	(0.042)
Constante	99,92
	(10,04)
R^2	0,0868
Estadístico F	34,54***
RECM	120,21
Nº observaciones	545

*** Significativo al 1%
** Significativo al 5%
* Significativo al 10%

Fuente: Elaboración propia.

Se observa como el GSVI de la palabra "corrupcion" muestra un coeficiente positivo y significativo, como se esperaba. De esta forma, se confirma que un aumento en las búsquedas de Google conlleva un incremento de la actividad del mercado de CDSs en España. Se puede decir, por tanto, que un incremento en la preocupación por la corrupción, que se traduce en un mayor número de búsquedas, aumenta la actividad en el mercado de seguros de crédito español. Concretamente, de acuerdo con el modelo, un incremento en una desviación típica en las búsquedas de Google implica un incremento de los CDSs de 37 p.b. Además, la capacidad explicativa del modelo queda contrastada con el estadístico F, que contrasta la validez del modelo en su conjunto, y que muestra un valor altamente significativo.

Sin embargo, esta relación positiva puede ser una relación espuria. El bajo valor del R^2 y el valor elevado de la raíz del error cuadrático *medio* (generalmente conocido por RECM o también por sus siglas en inglés *RMSE, Root Mean Square Error)* son indicativos de que el GSVI de la palabra "corrupcion" por sí solo no tiene un gran poder explicativo sobre la actividad del mercado de CDSs. Para contrastar este extremo, se ha añadido en el modelo el primer retardo de la variable dependiente, es decir, la variable relativa a los CDSs retardada un periodo (ecuación 3). De esta forma, es posible que el retardo de la variable dependiente absorba toda la influencia y desaparezca el efecto del GSVI de la palabra "corrupcion". Se utiliza la siguiente ecuación:

$$CDSs_t = \alpha + \beta_1 CDSs_{t-1} + \beta_2 GSVI\ "corrupcion"_t + \varepsilon_t \quad [3]$$

donde $CDSs_t$ es la variable dependiente y sobre la que se va a realizar la regresión, α es la constante del modelo, $\beta_1 CDSs_{t-1}$ representa la variable CDSs retardada un periodo, $\beta_2 GSVI\ "corrupcion"_t$ representa el GSVI de la palabra "corrupcion" y ε_t es el término de error. Una vez se ha establecido el modelo, se aplica a los datos existentes y se obtienen los resultados que se muestran en la Tabla 4. La tabla muestra los resultados de la regresión de los CDSs soberanos de España a 5 años retardados y el GSVI de la palabra "corrupcion" sobre los CDSs soberanos de España a 5 años.

Tabla 4. Análisis de regresión de los CDSs retardados y del GSVI de la palabra "corrupcion" sobre los CDSs.

Variable dependiente: CDSs soberanos de España a 5 años	Modelo
CDSs $_{t-1}$	0,983***
	(0,010)
GSVI "corrupción"	0,136*
	(0.070)
Constante	-0,710
	(2,010)
R^2	0,9777
Estadístico F	4.514,75 ***
RECM	18,821
Nº observaciones	544

Los errores robustos estándar se muestran en paréntesis. RECM indica la Raíz del Error Cuadrático Medio.
*** Significativo al 1%
** Significativo al 5%
* Significativo al 10%

Fuente: Elaboración propia.

Se observa que la relación positiva y significativa del GSVI con los CDSs no desaparece, si bien la significatividad se reduce ya que pasa a ser significativa tan sólo al 10%. Asimismo, el valor del coeficiente disminuye. Todo esto se debe a que el retardo de los CDSs absorbe gran parte de la influencia sobre la variable dependiente. Esto suele ser habitual en series financieras en las que el valor del activo depende en gran medida del valor de ese mismo activo en el periodo inmediatamente anterior. Por ello, el valor del R^2 se incrementa de forma sustancial, como era previsible, y se reduce la RECM aumentando la robustez del modelo. Sin embargo, a pesar de que el retardo de los CDSs reduce la significatividad y el impacto del GSVI de la palabra "corrupcion", su efecto no desaparece. Se puede decir, entonces, que ante una mayor percepción de la corrupción y, por tanto, cuanta mayor preocupación tenga la población en referencia a este fenómeno, mayor es el precio de los CDSs.

4.3. Análisis out-of-sample

En el análisis de regresión anterior (*in-sample)* se ha demostrado que existe una relación positiva y significativa entre la actividad del mercado de CDSs y el GSVI de la palabra "corrupcion". Sin embargo, es bien sabido que el análisis *in-sample* no permite conocer o determinar la capacidad predictiva del modelo de regresión (Choi y Varian, 2012). Por tanto, para completar el análisis empírico, se recurre a un análisis *out-of-sample* para determinar si la inclusión del GSVI permite mejorar la predicción del precio de los CDSs. En primer lugar se plantea un modelo AR(1) en el que se realiza una regresión de la variable dependiente sobre sí misma retardada un periodo tal y como se muestra en la ecuación 4:

$$CDSs_t = \alpha + \beta_1 CDSs_{t-1} + \varepsilon_t \quad [4]$$

donde $CDSs_t$ es la variable dependiente y sobre la que se va a realizar la regresión, α es la constante del modelo, $\beta_1 CDSs_{t-1}$ representa la variable CDSs retardada un periodo y ε_t es el término de error. Una vez se ha establecido el modelo, se aplica a los datos existentes.

La Tabla 5 muestra los resultados de la regresión de los CDSs soberanos de España a 5 años retardados sobre los CDSs soberanos de España a 5 años. Los resultados de la Tabla 5 muestran que el coeficiente de los CDSs retardados un periodo es muy próximo a 1. Esto suele ser indicativo de que este modelo es el que proporciona la mejor predicción (Choi & Varian, 2012; González-Fernández & González-Velasco, 2019; McLaren & Shanbhogue, 2011). Esto suele producirse en series económicas o financieras y es indicativo de que el modelo que mejor predice la variable dependiente es la propia variable retardada un periodo, es decir, un modelo autorregresivo. Sin embargo, el objetivo de este

análisis *out-of-sample* es contrastar si la inclusión del GSVI mejora la predicción. Por tanto, lo que se pretende es comparar la predicción del modelo autorregresivo de la ecuación 4 con la predicción obtenida del modelo de la ecuación 3, que incluye además el GSVI de la palabra "corrupción". Si la predicción del modelo de la ecuación 3 es superior, eso implica que el GSVI de la palabra "corrupcion" es útil para predecir los CDSs.

Tabla 5. Análisis de regresión de los CDSs retardados sobre los CDSs.

Variable dependiente: CDSs soberanos de España a 5 años	Modelo
$CDSs_{t-1}$	0,988***
	(0,011)
Constante	2,027 (1,247)
R^2	0,9774
Estadístico F	8.657,72***
RECM	18,904
Nº observaciones	544

Los errores robustos estándar se muestran en paréntesis. RECM indica la Raíz del Error Cuadrático Medio.
*** Significativo al 1%
** Significativo al 5%
* Significativo al 10%

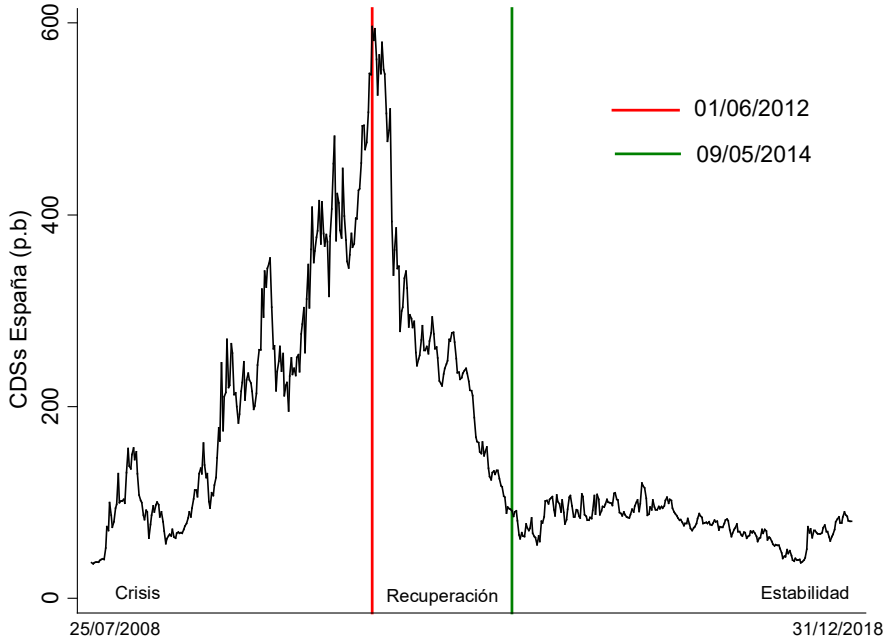
Fuente: Elaboración propia.

Para llevar a cabo el análisis *out-of-sample,* se utiliza un método iterativo de predicción para evitar el *look-ahead-bias.* Es decir, para evitar incluir en la predicción observaciones reales posteriores a la observación que se quiere predecir. Concretamente, se utiliza este método prediciendo una única observación de forma iterativa, es decir, se estima un modelo de regresión hasta el instante *t* y se predice el valor que proporciona cada uno de los modelos para la variable dependiente en el instante *t+1,* a continuación, el modelo de regresión se estima hasta *t+1* y se predice el valor de la variable dependiente para el instante *t*+2 y así sucesivamente. Específicamente, para llevar a cabo este análisis, cada uno de estos modelos se estima en primer lugar hasta el 18 de junio de 2010 (se ha escogido esta fecha debido a que representa la observación número 100 y ya se considera un número lo suficientemente elevado para realizar la primera predicción) y luego se predicen los datos de la semana siguiente. A continuación, se estima el modelo hasta el 25 de junio de 2010 y se predicen los datos de la semana posterior. Se repite este procedimiento cada semana hasta el final de la muestra. Finalmente, se recopilan las predicciones para los dos modelos y se compara la predicción con los datos reales de los CDSs. Esta comparación tiene en cuenta cuál de los dos modelos comete mayores errores al predecir al compararlos con los datos reales. Para medir este error se suele usar generalmente la RECM. Sin embargo, un menor valor en la RECM no implica que el modelo sea mejor. En este sentido, hay que verificar que las diferencias entre los modelos sean estadísticamente significativas. Para ello se utiliza el test de Diebold y Mariano (1995) que verifica si las predicciones son significativamente diferentes. Concretamente, este test plantea la hipótesis nula de que la capacidad predictiva de los dos modelos analizados es la misma. Por tanto, un rechazo de la hipótesis nula indica que aquel modelo que muestre unas menores diferencias con los datos reales es el que predice mejor. Generalmente, este test usa por defecto la RECM para comprobar este extremo, aunque también pueden usarse otras medidas alternativas como el Error Porcentual Absoluto Medio (EPAM), también conocido por sus siglas en inglés MAPE (*Mean Absolute Percentage Error*), o el Error Absoluto Medio (EAM) conocido en inglés como MAE (*Mean Absolute Error*).

Dado que la predicción se genera desde el 25 de junio hasta el 31 de diciembre de 2018, se han distinguido tres subperiodos dentro de ese horizonte temporal, que, como se puede observar en la Figura 7, son las tres etapas de la economía española en los últimos años. De esta forma nos permite determinar si la predicción mejor o empeora en función de la fase de la economía en la que se encuentre el país. El

primero de ellos (Panel A) comprende el periodo de crisis de deuda soberana, es decir, desde el 25 de junio de 2010 hasta el valor máximo alcanzado por los CDSs: el 1 de junio de 2012. Por otro lado, el segundo subperiodo (Panel B) abarca el periodo posterior a la crisis, en el que España sufre un periodo de recuperación, y comprende desde junio de 2012 hasta mayo de 2014, que es donde los datos empiezan a ser más estables, en consonancia con la economía general del país. Finalmente, el tercer subperiodo (Panel C) abarca el periodo de estabilización de la economía española, desde mayo de 2014 hasta diciembre de 2018. Los resultados del análisis *out-of-sample* se muestra en la Tabla 6. La tabla muestra los valores de la Raíz del Error Cuadrático Medio (RECM), del Error porcentual Absoluto Medio (EPAM) y del Error Absoluto Medio (EAM) para las estimaciones out- of-sample. En primer lugar, se realiza una regresión hasta el 25 de junio de 2010 y se predicen los datos de la semana posterior. Se repite este procedimiento cada semana hasta el final de la muestra. El modelo base es un modelo AR(1) en el que la variable explicativa son los CDSs retardados un periodo (ecuación 4). Por su parte, el modelo con GSVI incluye las búsquedas de Google de la palabra "corrupcion" (ecuación 3). Al igual que en D'Amuri y Marcucci (2017), se muestran los valores para el modelo base, mientras que para para el modelo con GSVI se informa de la ratio de éste en relación al modelo base. Por tanto, un valor inferior a 1 sugiere que el modelo mejora la predicción de referencia y viceversa.

Figura 7. Evolución de los CDSs en subperiodos.



Fuente: Elaboración propia a partir de datos de *Datastream*.

Además, en la tabla se presentan la RECM, el EPAM y el EAM del modelo base (ecuación 4) mientras que para el modelo con GSVI (ecuación 3) se muestra la ratio con respecto a los valores del modelo base. Por tanto, un valor inferior (superior) a 1 indica que el modelo que incluye el GSVI de la palabra "corrupcion" mejora (empeora) la predicción del modelo base.

A la vista de los resultados, el análisis out-of-sample revela que el modelo que incluye el GSVI no supera al modelo base en el periodo de crisis de deuda soberana, ya que todos los valores para el modelo con GSVI son superiores a la unidad, independientemente del criterio que se tenga en cuenta para medir el error (RECM, EPAM o EAM). Además, la prueba de Diebold y Mariano (1995) muestra que la precisión de la predicción es diferente entre los modelos, lo que indica que la inclusión de GSVI no mejora significativamente la predicción, es decir, no reduce de forma significativa los errores del pronóstico. Por tanto, durante la época de la crisis de deuda soberana, el modelo que mejor predice los

CDSs soberanos en España es el modelo base, ya que, como se ha dicho anteriormente, introducir la palabra "corrupcion" no mejora la predicción en este caso.

Tabla 6. Análisis out-of-sample.

Panel A (Periodo crisis: 25 junio 2010 - 1 de junio de 2012)		
Variable dependiente: CDSs	Modelo base	Modelo con GSVI
RECM	32,35	1,006*
EPAM	0,081	1,005*
EAM	25,72	1,005
Panel B (Periodo de recuperación: 8 de junio de 2012 - 2 de mayo de 2014)		
Variable dependiente: CDSs	Modelo base	Modelo con GSVI
RECM	21,83	0,990**
EPAM	0,054	0,943
EAM	14,42	0,973
Panel C (Periodo de estabilidad: 9 de mayo de 2014 - 31 de diciembre de 2018)		
Variable dependiente: CDSs	Modelo base	Modelo con GSVI
RECM	6,924	0,968**
EPAM	0,064	0,956***
EAM	5,07	0,961***

* Significativo al 10%
** Significativo al 5%
*** Significativo al 1%

Fuente: Elaboración propia.

Sin embargo, como se puede observar en el Panel B de la Tabla 6, el análisis del período de recuperación arroja resultados totalmente opuestos. Durante esta etapa, se observa que la predicción del modelo que incluye los datos del GSVI es superior a la del modelo base, con independencia del criterio utilizado (RECM, EPAM o EAM). Cabe destacar, también, que el test de Diebold y Mariano (1995) indica que la diferencia de la RECM es estadísticamente significativa. Por tanto, de acuerdo con este criterio, el modelo con GSVI mejora significativamente la predicción.

El análisis del periodo posterior, en el que se puede apreciar la estabilización de la economía española, muestra que la influencia de la corrupción percibida en la actividad del mercado de CDSs es aún mayor que en la anterior estimación, así como su significación. Durante este periodo se observa que la predicción del modelo que incluye los datos del GSVI es superior a la del modelo base, con independencia del criterio utilizado (RECM, EPAM o EAM). Asimismo, el test de Diebold y Mariano (1995) indica que las diferencias son estadísticamente significativas al 5% en todos los casos. Además, se ha comprobado que esta capacidad predictiva del modelo para el periodo posterior a la crisis se mantiene para otros periodos de inicio diferentes a las fechas seleccionadas. Parece ser, por tanto, que el GSVI de la palabra "corrupcion" incrementa la capacidad predictiva cuando no existe una crisis de deuda soberana. Durante ese periodo de crisis (hasta junio de 2012) el análisis out-of-sample arroja diferencias significativas en favor del modelo base. Los resultados indican, por tanto, que en épocas de crisis de deuda, donde existe un elevado estrés sobre el mercado de CDSs, el modelo autorregresivo es el que mejor predice. En cierto modo, durante esa fase la actividad del mercado de CDSs sólo se ve influenciada por la actividad del mercado de CDSs del periodo anterior y no le afectan otras consideraciones. Sin embargo, toda vez que la crisis de deuda soberana se ha superado, la actividad del mercado de CDSs sí que se ve influida por el fenómeno de la corrupción.

En resumen, del análisis realizado se puede afirmar que los datos del GSVI de la palabra corrupción, que aproximan la corrupción percibida, no sólo tienen una relación directa y significativa con la actividad del mercado de CDSs, sino que esta relación es útil para mejorar las predicciones del precio de los CDSs. Además, del análisis se concluye que estos resultados son más relevantes cuando

no existe una crisis de deuda como la que tuvo lugar hasta el año 2012. Durante esta etapa, los datos del GSVI no permiten mejorar las predicciones, ya que la corrupción percibida supone una preocupación menor para la población en época de crisis y, también, porque la evolución del mercado de CDSs a 5 años en España tiene unas fluctuaciones mucho más elevadas en estos periodos. Estos resultados van en la línea de los de otros autores (Carrière-Swallow & Labbé, 2013; Choi & Varian, 2012; D'Amuri & Marcucci, 2017; González-Fernández & González-Velasco, 2019, 2020; McLaren & Shanbhogue, 2011) que han demostrado que la inclusión de los datos de Google Trends relativos a diferentes variables económicas y financieras, permiten mejorar el pronóstico de los modelos de predicción.

5. Conclusiones

En este estudio se ha analizado la relación entre la corrupción percibida o la preocupación que presenta la población sobre la corrupción y la percepción del riesgo soberano medido a través de la actividad del mercado de seguros de crédito o CDSs en España en el periodo 2008-2018. Para medir la percepción de la corrupción se ha utilizado la herramienta *Google Trends*, que permite obtener un indicador de alta frecuencia (semanal) de la corrupción, frente a otros indicadores tradicionales cuya frecuencia es anual. Para aproximar la percepción del riesgo soberano se ha utilizado la actividad del mercado de CDSs a 5 años.

En la primera parte del trabajo se ha realizado un análisis introductorio sobre las variables objeto de estudio. Concretamente, se ha mostrado la preocupación que existe en la actualidad, y que ha existido a lo largo de los últimos años, respecto al fenómeno de la corrupción en España, mediante la observación de varios índices que miden esta percepción. Se ha observado cómo la corrupción juega un papel importante en España, manteniéndose entre las preocupaciones de la población de nuestro país a lo largo de todos los años de la muestra utilizada para la realización de este estudio. También se ha estudiado el efecto que ésta puede tener sobre la economía de un país, llegando a la conclusión de que la corrupción es un signo de presencia de economía sumergida y de fraude fiscal en un país, así como una representación de inmadurez socioeconómica, de una insuficiente capacidad para llevar a cabo reformas políticas y de una falta de cohesión social. Además, la corrupción es un signo de mala gestión económica en el gobierno, ya que un gobierno que no previene la corrupción está poniéndole una barrera al progreso económico de su país. En cuanto al riesgo soberano, cabe destacar que se ve afectado por la corrupción debido al efecto que este fenómeno tiene en la economía de un país en general y por la limitación que causa en la capacidad del gobierno para financiarse. Esto provoca que los problemas del gobierno para devolver la deuda se vean aumentados. Además, también se ha investigado acerca del funcionamiento de *Google Trends* y se ha analizado su utilidad como herramienta de predicción y, en concreto, de predicción del riesgo soberano español mediante las búsquedas de la palabra "corrupcion".

En la segunda parte de este estudio, se ha llevado a cabo un análisis empírico para comprobar si existe una relación entre la corrupción percibida y la actividad del mercado de CDSs en España, es decir, para comprobar si la percepción de la corrupción de la población española tiene influencia en el riesgo soberano de nuestro país. Para ello, se ha utilizado el análisis de regresión y un análisis *out-of-sample.* Los resultados obtenidos para el periodo 2008-2018 a través de estos análisis muestran que el nivel de corrupción percibido en nuestro país tiene un efecto positivo y significativo en la actividad del mercado de CDSs. Esta afirmación va en consonancia con la literatura y respalda la importancia de los datos de Google como una herramienta alternativa para medir la atención de los inversores en el ámbito económico, en este caso. Además, la capacidad predictiva del modelo que incluye los datos de Google mejora las predicciones de forma significativa.

Los resultados van en la línea de estudios previos que ya han demostrado la capacidad de los datos de Google para predecir variables económicas y financieras. Estos resultados pueden tener diferentes implicaciones, teniendo en cuenta, además, que los datos de Google se pueden obtener con facilidad y proporcionan información más transparente que otras fuentes (Da et al., 2015). En este

sentido, un análisis pormenorizado de los datos facilitados por *Google Trends* puede proporcionar información importante a los inversores que quieran predecir el precio de los CDSs. Además, este análisis se puede hacer extensivo a otras regiones geográficas dentro de España o a otros países y, del mismo modo, se puede utilizar para medir la preocupación o el interés de los usuarios sobre otros fenómenos de difícil medición como la economía sumergida, el fraude u otros.

Referencias

Adama, A. (2016). *Essays on Institutions, Firm Funding and Sovereign Debt*. [Tesis doctoral, The University of Manchester].

Aidt, T.S. (2003). Economic analysis of corruption: a survey. *The Economic Journal*, *113*(491), 632-652.

Ammer, J., & Cai, F. (2011). Sovereign CDS and bond pricing dynamics in emerging markets: Does the cheapest-to-deliver option matter? *Journal of International Financial Markets, Institutions and Money*, *21*(3), 369-387.

Arce, O., Mayordomo, S., & Peña, J.I. (2013). Credit-risk valuation in the sovereign CDS and bonds markets: Evidence from the euro area crisis. *Journal of International Money and Finance*, *35*(0), 124-145.

Arghyrou, M.G., & Kontonikas, A. (2012). The EMU sovereign-debt crisis: Fundamentals, expectations and contagion. *Journal of International Financial Markets, Institutions and Money*, *22*(4), 658-677.

Cameron, D. (2016). *Anti-Corruption Summit*.

Carrière-Swallow, Y., & Labbé, F. (2013). Nowcasting with Google Trends in an Emerging Market. *Journal of Forecasting*, *32*(4), 289-298.

Cervellin, G., Comelli, I., & Lippi, G. (2017). Is Google Trends a reliable tool for digital epidemiology? Insights from different clinical settings. *Journal of Epidemiology and Global Health*, *7*(3), 185-189. https://doi.org/10.1016/j.jegh.2017.06.001

Chakrabarti, A., & Zeaiter, H. (2014). The determinants of sovereign default: A sensitivity analysis. *International Review of Economics and Finance*, *33*, 300-318.

Chen, T. (2017). Investor Attention and Global Stock Returns. *Journal of Behavioral Finance*, *18*(3), 358-372.

Choi, H., & Varian, H. (2012). Predicting the Present with Google Trends. *Economic Record*, *88*(s1), 2-9.

Ciocchini, F., Durbin, E., & Ng, D.T.C. (2003). Does corruption increase emerging market bond spreads? *Journal of economics and business*, *55*(5-6), 503-528.

Corporate Finance Institute (2020). *Credit Default Swap (CDS) - A Major Player in the 2008 Financial Crisis*. https://corporatefinanceinstitute.com/resources/knowledge/finance/credit-default-swap-cds/

D'Amuri, F., & Marcucci, J. (2017). The predictive power of Google searches in forecasting US unemployment. *International Journal of Forecasting*, *33*(4), 801-816.

Da, Z., Engelberg, J., & Gao, P. (2011). In Search of Attention. *The Journal of Finance*, *66*(5), 1461-1499. https://doi.org/10.1111/j.1540-6261.2011.01679.x

Da, Z., Engelberg, J., & Gao, P. (2015). The Sum of All FEARS Investor Sentiment and Asset Prices. *Review of Financial Studies*, *28*(1), 1-32.

Depken, C.A., Lafountain, C.L., & Butters, R.B. (2011). Corruption and Creditworthiness: Evidence from Sovereign Credit Ratings. En *Sovereign Debt* (pp. 79-87). John Wiley & Sons, Inc.

Dergiades, T., Milas, C., & Panagiotidis, T. (2015). Tweets, Google trends, and sovereign spreads in the GIIPS. *Oxford Economic Papers*, *67*(2), 406-432.

Diebold, F.X., & Mariano, R.S. (1995). Comparing predictive accuracy. *Journal of Business & Economic Statistics*, *13*(3), 253-263.

Dzielinski, M. (2012). Measuring economic uncertainty and its impact on the stock market. *Finance Research Letters*, *9*(3), 167-175.

Ejsing, J., & Lemke, W. (2011). The Janus-headed salvation: Sovereign and bank credit risk premia during 2008-2009. *Economics Letters*, *110*(1), 28-31.

Fondeur, Y., & Karamé, F. (2013). Can Google data help predict French youth unemployment? *Economic Modelling*, *30*, 117-125.

Ginsberg, J., Mohebbi, M.H., Patel, R.S., Brammer, L., Smolinski, M.S., & Brilliant, L. (2009). Detecting influenza epidemics using search engine query data. *Nature*, *457*(7232), 1012-1014. https://doi.org/10.1038/nature07634

González-Fernández, M., & González-Velasco, C. (2018). Can Google econometrics predict unemployment? Evidence from Spain. *Economics Letters*, *170*, 42-45.

González-Fernández, M., & González-Velasco, C. (2019). An approach to predict Spanish mortgage market activity using Google data. *Economics and Business Letters*, *8*(4), 209.

González-Fernández, M., & González-Velasco, C. (2020). An alternative approach to predicting bank credit risk in Europe with Google data. *Finance Research Letters*, *35*, 101281.

Han, L., Li, Z., & Yin, L. (2017). The effects of investor attention on commodity futures markets. *Journal of Futures Markets*, *37*(10), 1031-1049.

Huixin, B. (2012). Sovereign default risk premia, fiscal limits, and fiscal policy. *European Economic Review*, *56*(3), 389-410.

Ikonomou, C. (2018). The great Greek crisis. *Funding the Greek Crisis*, 1-71.

Jain, A. K. (2001). Corruption: A Review. *Journal of Economic Surveys*, *15*(1), 71-121.

Johnson, S., Kaufmann, D., Shleifer, A., Goldman, M. I., & Weitzman, M. L. (1997). *The Unofficial Economy in Transition*. Brookings Papers on Economic Activity.

Jun, S. P., Yoo, H. S., & Choi, S. (2018). Ten years of research change using Google Trends: From the perspective of big data utilizations and applications. *Technological Forecasting and Social Change*, *130*, 69-87.

Kalbaska, A., & Gatkowski, M. (2012). Eurozone sovereign contagion: Evidence from the CDS market

(2005-2010). *Journal of Economic Behavior & Organization*, *83*(3), 657-673.

Lee, C.M.C., & Ng, D. (2009). Corruption and International Valuation: Does Virtue Pay? *The Journal of Investing*, *18*(4), 23-41.

Lyddy, F., Farina, F., Hanney, J., Farrell, L., & Kelly O'Neill, N. (2014). An Analysis of Language in University Students' Text Messages. *Journal of Computer-Mediated Communication*, *19*(3), 546-561.

Mauro, P. (1995). Corruption and growth. *The Quarterly Journal of Economics*, *110*(3), 681-712.

McLaren, N., & Shanbhogue, R. (2011). Using Internet Search Data as Economic Indicators. *SSRN Electronic Journal*.

Mo, P.H. (2001). Corruption and Economic Growth. *Journal of Comparative Economics*, *29*, 66-79.

New York Times. (2016). *David Cameron Leads a Call to Thwart Financial Corruption.* https://www.nytimes.com/2016/05/13/world/europe/britain-cameron-corruption.html

Panizza, U., Sturzenegger, F., & Zettelmeyer, J. (2009). The Economics and Law of Sovereign Debt and Default. *Journal of Economic Literature, 47*(3), 651-698. https://www.aeaweb.org/articles?id=10.1257/jel.47.3.651.

Paserman, M. (2017). Comovement or safe haven? The effect of corruption on the market risk of sovereign bonds of emerging economies during financial crises. *Journal of International Money and Finance*, *76*, 106-132.

Poveda, A., & Acosta, M. (2016). Crecimiento empresarial y corrupción: un análisis para la industria manufacturera colombiana durante el periodo 2000-2011. *Revista de Métodos Cuantitativos para la Economía y la Empresa*, *19*, 24-41.

Sgherri, S., & Zoli, E. (2009). Euro area sovereign risk during the crisis. *IMF Working Paper*, *09*(222).

Shleifer, A., & Vishny, R. W. (1993). Corruption. *Quarterly Journal of Economics*, *108*(3), 599-617.

Siganos, A. (2013). Google attention and target price run ups. *International Review of Financial Analysis*, *29*, 219-226.

Solano, P., Ustulin, M., Pizzorno, E., Vichi, M., Pompili, M., Serafini, G., & Amore, M. (2016). A Google-based approach for monitoring suicide risk. *Psychiatry Research*, *246*, 581-586. https://doi.org/10.1016/j.psychres.2016.10.030

Stephens-Davidowitz, S., & Varian, H. (2015). A Hands-on Guide to Google Data. *Google, Inc.*, 1-25.

Stephens-Davidowitz, S. (2020). Google Searches Can Help Us Find Emerging Covid-19 Outbreaks. *New York Times*. https://www.nytimes.com/2020/04/05/opinion/coronavirus-google-searches.html

Svensson, J. (2005). Eight questions about corruption. *Journal of Economic Perspectives*, *19*(3), 19-42.

Téllez, C., Martín, M., Ramón, M Á., & Martín, J.L. (2020). Diferenciales de bonos soberanos y primas de CDS en la zona euro: un análisis de causalidad. *Revista de Métodos Cuantitativos para la Economía y la Empresa*, *30*, 58-78.

Transparency International (2019). *Transparencia Internacional España*. https://transparencia.org.es/

Treisman, D. (2000). The causes of corruption: a cross-national study. *Journal of Public Economics*, *76*(3), 399-457.

Vargas, M., & Sommer, F. (2014). Corruption and the risks of losses on government bonds. En *Union investment (Hrgs) Risk mangement edition* (Número April). http://www.union-investment.it/dam/jcr:b8a1689b-18b5-45ef-af0e-31d49f5cf12b/Corruption_and_the_risks_of_losses_on_government_bonds.pdf

Villoria, M., & Jiménez, F. (2012). La corrupción en España (2004-2010): datos, percepción y efectos. *REIS: Revista Española de Investigaciones Sociológicas*, *138*, 109-134.

Vozlyublennaia, N. (2014). Investor attention, index performance, and return predictability. *Journal of Banking & Finance*, *41*, 17-35.

Winkler, M. (1933). *Foreign Bonds: An Autopsy*. Washington D.C: Beard Books.

REVISTA DE MÉTODOS CUANTITATIVOS PARA LA ECONOMÍA Y LA EMPRESA (33). Páginas 191-225.
Junio de 2022. ISSN: 1886-516X. D.L: SE-2927-06.
www.upo.es/revistas/index.php/RevMetCuant/article/view/4715

Difusión de choques de productividad en redes productivas con competencia imperfecta y quiebra de empresas

RAMÍREZ-ÁLVAREZ, JOSÉ
Escuela Politécnica Nacional (Quito, Ecuador)
Correo electrónico: jose.ramirez@epn.edu.ec

PÉREZ-OVIEDO, WILSON
Facultad Latinoamericana de Ciencias Sociales (Quito, Ecuador)
Correo electrónico: wperez@flacso.edu.ec

RESUMEN

La red productiva representa un mecanismo económico clave para comprender cómo los choques microeconómicos se propagan en el sistema económico. En esta línea se han desarrollo diversos trabajos teóricos bajo el supuesto de libre competencia, sin considerar el poder de mercado ni la posible quiebra de empresas. El presente documento estudia la difusión de choques de productividad en redes productivas con competencia imperfecta y quiebra de empresas. Para ello, se asume que las empresas pueden fijar el precio de su producto, tomando en cuenta que los precios inciden en la posibilidad de que sus compradores los contraten. Este hecho supone que las transacciones comerciales podrían fallar, a causa, por ejemplo, de que los productos no tienen la calidad o características esperadas, lo que generaría pérdidas para el comprador. En este contexto, el comprador no solo busca el mayor beneficio esperado, sino también el menor riesgo de pérdida, lo que lo lleva a asignar una probabilidad de contratación a cada proveedor. Por otro lado, la quiebra de empresas se representa mediante un proceso estocástico en el que aquellas empresas con peor desempeño durante el tiempo tienen mayores posibilidades de salir de la industria. Los resultados muestran distintos efectos cascada sobre los precios y las cantidades que se transan en la red productiva, ante choques de productividad negativos. En particular, se encuentra un efecto cascada "aguas arriba" en la quiebra de las empresas durante el transcurso del tiempo, el cual se trasmite exclusivamente hacia los proveedores de menor riesgo en la red.

Palabras clave: redes productivas, competencia imperfecta, quiebra de empresas, equilibrio.
JEL classification: D85; D43; D58.
MSC2010: 90C33; 90C35; 91B50.

Artículo recibido el 29 de julio de 2020 y aceptado el 10 de julio de 2021.

Productivity Shocks Diffusion in Firms Networks with Imperfect Competition and Bankruptcy

ABSTRACT

The productive network represents a key economic mechanism to understand how microeconomic shocks spread in the economic system. At this scope, several theoretical works have been developed under the assumption of free competition, without considering market power or the possible bankruptcy of firms. This document studies the diffusion of productivity shocks in productive networks with imperfect competition and firms' bankruptcy. It is assumed that firms can to set the price of their product, taking into account that prices affect the possibility of their buyers hiring them. This fact means that transactions could fail because, for instance, the products do not have the expected quality or characteristics, which would generate losses for the buyer. In this context, the buyer seeks not only the highest expected benefit, but also the lowest risk of loss, which leads him to assign a hiring probability to each supplier. On the other hand, firms' bankruptcy is represented by a stochastic process in which firms with worse performance over time are more likely to leave the industry. The model's results show different cascade effects on prices and quantities exchanged in the production network to negative productivity shocks. Interestingly, we observe an upstream cascade effect on firm bankruptcy over time, which is transmitted exclusively to suppliers with the lowest risk in the production network.

Keywords: productive networks, imperfect competition, firms bankruptcy, equilibrium.
Clasificación JEL: D85; D43; D58.
MSC2010: 90C33; 90C35; 91B50.

1. Introducción

Supongamos que tenemos un conjunto de empresas cuyas funciones de producción son Hicks-neutrales y que constituyen una red direccionada y ponderada, donde las conexiones son de proveedor a comprador de insumos productivos. Si algunas de las empresas reciben un choque, positivo o negativo, en su productividad: ¿Cuáles son los efectos en la red productiva y en la macroeconomía en su conjunto?

Para contestar esta pregunta la mayoría de los autores, tal como lo explicamos más adelante en la revisión de la literatura, asumen empresas cuyas funciones de producción admiten algún grado de sustitución entre insumos, y mercados perfectamente competitivos, donde empresas idénticas actúan como tomadores de precios en un equilibrio walrasiano. En este contexto, un choque negativo, por ejemplo en la productividad de toda una industria, originará un incremento del precio del insumo que produce, con la consecuente sustitución de este bien por otros más baratos en la función de producción de las empresas que lo usan, y la reducción de la producción total y de la demanda de insumos por parte de la industria que recibió el choque original; efectos que se transmitirán "aguas abajo" (afectando a las empresas que usan los bienes producidos por esta industria) y "aguas arriba" (afectando a las empresas que proveen insumos a esta industria). Desde esta perspectiva, las consecuencias macroeconómicas no suelen ser importantes, pues este tipo de efectos tienden a debilitarse a medida que el choque se propaga en la red productiva. Nuestra hipótesis es que existen otros factores de difusión de un choque microeconómico, como son: la competencia imperfecta en mercados importantes desde el punto de vista de su posición en la red productiva y, quizá más relevante, la posibilidad de quiebra de las empresas. En el escenario de equilibrio walrasiano y competencia perfecta, la quiebra de una empresa originaría el desplazamiento de la oferta (y consecuentemente el de la demanda de insumos y de la contratación de trabajo) hacia las otras empresas que producen el mismo insumo.

Para abordar conjuntamente la competencia imperfecta y la posibilidad de quiebra de empresas, en el presente documento se construye un modelo económico basado en una red, donde los nodos representan las empresas y las aristas direccionadas y ponderadas representan la venta de insumos de una empresa a otra. Esta economía incluye también un hogar representativo, cuya relación con las empresas es doble: como proveedor de trabajo y como comprador de bienes finales. Se asume una economía cerrada.

Las empresas están caracterizadas por: (1) Una función de producción CES Hicks-Neutral. (2) Una función de evaluación de las ofertas de insumos que recibe, que toma en cuenta la variación del beneficio esperado al asignar el contrato de provisión de insumos a una firma en lugar de otra, y la variación del riesgo que esta decisión implica. (3) Una percepción del riesgo respecto a la falla del contrato de provisión de insumos, para cada uno de los proveedores potenciales de la empresa. Este riesgo es menor cuando el insumo es homogéneo (carburantes, por ejemplo) y, por tanto, las características del bien no varían según el proveedor; pero es mayor cuando el bien tiene características especiales a las que se ha adaptado el proceso productivo de la empresa, o formas y tiempos específicos de entrega y financiamiento. Los proveedores potenciales se dividen en habituales, es decir, aquellos a los que la empresa ha contratado recurrentemente en el pasado, y los nuevos, cuya contratación tiene una percepción de riesgo mayor. Las características (2) y (3) hacen que la decisión del comprador sea asignar a cada proveedor una probabilidad de ser contratado, en lugar de, como es tradicional, asignar con certeza el contrato a la empresa que le ofrezca el mayor beneficio esperado.

En este modelo, las empresas que producen bienes intermedios (insumos) deciden los precios de venta de tal manera que maximicen su beneficio esperado, teniendo en cuenta que estos precios inciden en la probabilidad de que sus compradores los contraten. Al tomar esta decisión, cada empresa asume que el resto de firmas en la red productiva actúan de la misma manera, tomando como dados los precios de los otros, por lo que el primer equilibrio de esta economía es un equilibrio de Nash. Por otro lado, las empresas que producen bienes de consumo final operan en mercados de libre competencia, es decir son tomadores de precios. Por último, el hogar representativo demanda bienes finales y oferta trabajo maximizando su utilidad esperada.

Así, la economía se convierte en un espacio probabilístico donde cada realización representa un subgrafo de la red productiva, en el que las aristas son los contratos de provisión de insumos de una empresa a otra efectivamente asignados. Los precios de los insumos determinados por el equilibrio de Nash establecen la probabilidad en el espacio probabilístico de la red productiva. Para cada realización en este espacio, ya con los precios de los insumos definidos, cada empresa decide la cantidad de trabajo a contratar y de insumos a comprar, y el hogar define su demanda de productos finales maximizando su utilidad, de tal forma que se alcanza un equilibrio oferta-utilización. En su conjunto, ambos equilibrios representan lo que denominamos en este documento el Equilibrio General de Mercado (EGM), es decir, el conjunto de precios que constituye un equilibrio de Nash ex-ante y el conjunto de cantidades que garantizan el equilibrio oferta-utilización ex-post.

La quiebra de empresas en este modelo es también un evento aleatorio. Aquí, la probabilidad de que una empresa quiebre es mayor mientras mayor es el número de períodos en los que la empresa obtuvo malos resultados. Este hecho se incorpora en el modelo mediante un proceso estocástico en el que cada periodo de tiempo se encuentra determinado por el EGM de las empresas que subsistieron hasta ese instante.

Teniendo en cuenta este modelo, la simulación de un choque de productividad sobre una empresa en una red simple genera diversos resultados. Primero, la empresa afectada tendrá que incrementar sus precios, pues es más costoso para ella producir. Esto hará que sus competidoras también tengan margen para incrementar sus precios, a pesar de no haber sufrido un impacto negativo o, si mantienen sus precios anteriores, tendrán mayores probabilidades de ser escogidas y, por tanto, de desplazar al proveedor habitual. Segundo, los compradores que se ubican "aguas abajo" de la empresa afectada tendrán que asumir precios mayores en la demanda de sus insumos, por lo que aumentarán sus precios de venta y, consecuentemente, se reducirán sus probabilidades de ser contratados. Tercero, los proveedores habituales que se ubican "aguas arriba" de la empresa afectada pueden esperar una reducción en sus ventas, por lo que deben reducir sus precios en busca de mayores opciones de ganar contratos; ambos factores deterioran sus ganancias. Si estos efectos negativos en las empresas que recibieron el choque original o en las otras que sufrieron los efectos difundidos a través de la red productiva, son lo suficientemente grandes y permanentes, algunas empresas pueden quebrar. La quiebra de una empresa afecta negativamente a sus proveedores habituales, que ven su demanda disminuida y deben bajar precios para competir por otros compradores; y, aguas abajo, afecta a sus compradores habituales que deben recurrir a empresas que quizá no ofrezcan el insumo con las características que ellos requieren y podrían aumentar sus precios ante la disminución del número de competidores.

El presente estudio contribuye a la literatura sobre difusión de choques microeconómicos en redes productivas. Carvalho (2010) muestra cómo choques idiosincráticos en los sectores productivos pueden originar fluctuaciones en los agregados macroeconómicos. Para ello, utiliza un modelo de equilibrio general con un hogar representativo y varios sectores productivos con preferencias y tecnologias Cobb-Douglas. Asume que el hogar posee una preferencia por el ocio, por lo que la oferta de trabajo es endógena. Teniendo en cuenta este modelo, el autor encuentra que los choques sobre los sectores productivos pueden propagarse en el sistema económico y afectar los agregados macroeconómicos. Este resultado se cumple para redes productivas en las cuales la demanda es poco diversificada y existe un grupo reducido de sectores que acapara la oferta. Son los choques en estos sectores los que se multiplican rápidamente en la red productiva y amplían las fluctuaciones de los agregados económicos.

El trabajo de Acemoglu et al. (2012) es otra de las principales referencias sobre difusión de choques microeconómicos en redes productivas. 4Utilizando un modelo de equilibrio similiar con tecnologías y preferencias Cobb-Douglas en mercados perfectamente competitivos, estos autores demuestran que un choque de productividad sobre un sector productivo puede propagarse "aguas abajo" sobre el resto de sectores en la economía, dependiendo del grado con que los sectores productivos participan como proveedores en la red. En particular, se hallan dos importantes resultados. Primero, los choques sobre proveedores que poseen un rol más central tienen mayor influencia en la volatilidad de los agregados macroeconómicos. Segundo, cuanto más heterogéneo sea el rol que desempeñan los

sectores productivos como proveedores de insumos, mayor será la incidencia de estos choques. Varias investigaciones sobre difusión en redes productivas adoptan este planteamiento teórico llegando a resultados similares (Acemoglu et al., 2016, 2017; Atalay, 2017; Carvalho & Gabaix, 2013; Stella, 2015). Nuestro trabajo se diferencia de estos estudios porque considera competencia imperfecta y posibilidad de quiebra de empresas.

El presente estudio se relaciona más de cerca con los trabajos de Grassi (2017) y Baqaee (2018) sobre efectos cascada en economías con fallas de mercado. Por un lado, Grassi (2017) estudia el origen de las fluctuaciones de los agregados macroeconómicos, enfocándose en la organización industrial de los sectores productivos. Para ello, elabora un modelo de equilibrio con competencia imperfecta donde las empresas deciden sus precios de venta de manera estratégica a la Bertrand, con un grado de sustitución CES entre ellas. Teniendo en cuenta este modelo, Grassi (2017) manifiesta que los choques microeconómicos pueden generar la difusión de dos efectos: un efecto cascada aguas abajo debido al cambio de los precios y un efecto aguas arriba debido al cambio en los márgenes de ganancia. El presente modelo añade la posibilidad de quiebra de empresas, no considerado por este autor.

Por su parte, Baqaee (2018) aborda la difusión de choques en la productividad laboral en una red productiva considerando poder de mercado y la salida y entrada de empresas en las industrias. El mecanismo fundamental es la competencia monopolística que, mediante funciones de producción CES anidadas, puede tener diferente grado en cada industria. Adicionalmente, el decremento (incremento) del número de empresas en una industria puede originar una caída (subida) en las economías de escala externas, en forma de un incremento (caída) del mark-up en la industria y una reducción (incremento) de su variedad de productos. Por ello, un choque de productividad negativo en una industria, por ejemplo, puede originar la salida de productores que buscan mayor rentabilidad en otras industrias, afectando tanto a sus proveedores como compradores, cuyas industrias pueden experimentar, a su vez, salidas o entradas, difundiendo y quizá amplificando el choque original. El modelo permite hacer un ejercicio de estática comparativa de dos situaciones (antes y después del choque de productividad laboral) en donde el equilibrio significa que cada empresa tiene cero ganancias y, por tanto, la entrada y salida de empresas (con el consiguiente movimiento de factores) ha concluido.

Nuestro trabajo se asemeja al de Baqaee (2018) en cuanto a la inclusión de diferentes grados de poder de mercado en las industrias. Como se ha dicho, incorpora la posibilidad de que empresas salgan de su industria, al igual que nosotros consideramos la posibilidad de quiebra de las empresas. Aquí aparece una diferencia fundamental: cuando Baqaee (2018) permite que las empresas y factores se muevan a otra industria, considerando un nuevo punto de equilibrio de la economía, está pensando en el medio y largo plazo, cuando ese tipo de movilidades pueden concretarse. En cambio, nuestro modelo no permite tal movilidad siendo, por tanto, una perspectiva de corto plazo en la que la quiebra de una empresa no se convierte inmediatamente en incremento del número de empresas en otra industria; por ello, la quiebra de una empresa, en nuestro modelo, es un fuerte factor de amplificación de un choque negativo. Los dos enfoques también tienen grandes diferencias en cuanto a las técnicas de modelización, ya que el presente trabajo aporta una forma de modelar el poder de mercado distinta a la competencia monopolística, que se basa en las características específicas de un mismo insumo cuando es producido por empresas diferentes, en la adaptación del proceso productivo del comprador a las características específicas de un proveedor y, por tanto, en el riesgo que supone cambiar de proveedor. Además, modelamos de forma distinta las decisiones bajo riesgo (el modelo de Baqaee (2018) es un modelo determinístico) obteniendo como decisión una elección probabilística de adjudicar la compra a cada uno de los potenciales proveedores.

De hecho, una de nuestras aportaciones es incluir el riesgo en la toma de decisiones de los productores. Si bien Carvalho (2010), Carvalho y Gabaix (2013), Stella (2015), Acemoglu et al. (2016), Acemoglu et al. (2017) y Atalay (2017) (entre otros) suponen choques aleatorios, también consideran que, una vez realizado el choque, es perfectamente conocido por los agentes; es decir, estos toman decisiones en certidumbre. En nuestro modelo, el hecho de que los otros agentes decidan asignando una probabilidad a cada una de las opciones, hace que la red misma sea aleatoria y, por tanto, cada

empresario deba tomar decisiones bajo riesgo, que se incrementa ante la presencia de un choque negativo.

El resto del documento se encuentra organizado de la siguiente forma. La segunda sección muestra el planteamiento de la red productiva, el comportamiento de cada uno de los agentes económicos, el Equilibrio General de Mercado (EGM) y el proceso de quiebra de empresas. La tercera sección hace un ejercicio de simulación a partir de una red productiva pequeña y sencilla, y analiza cómo los choques de productividad de las empresas se difunden en el aparato productivo. Finalmente, la cuarta sección presenta las conclusiones del estudio.

2. Modelo

En esta sección se plantea el modelo para el análisis de una red productiva con competencia imperfecta y quiebra de empresas. El sistema económico está conformado por un hogar representativo h y las empresas $J = \{1,2, \dots, N\}$ que realizan transacciones en los mercados de bienes $I = \{1,2, \dots, M\}$ y en el mercado de trabajo l. Se supone $N > M$.

La red productiva se encuentra definida por un grafo dirigido $R = (V, \Gamma)$, donde $V = J \cup \{h\}$ son los nodos que representan el conjunto de empresas J y el hogar representativo h, y $\Gamma \subset V \times V$ son las aristas que representan las transacciones de compra-venta que pueden realizar estos agentes en los mercados de bienes I y el mercado de trabajo l. Cabe resaltar que esta red es potencial, es decir, comprende todas las posibles transacciones entre las empresas.

Cada empresa $j \epsilon J$ produce un solo bien representado por el conjunto $a(j)$ y demanda un conjunto de insumos representado por el conjunto $b(j)$. Por supuesto $a(j) \subset I, |a(j)| = 1$, y $b(j) \subset I \cup \{l\}$. Se asume que las empresas no ofertan productos de su propio insumo y que siempre requieren trabajo $\big(\text{e.d. } a(j) \cap b(j) = \emptyset, l \in b(j)\big)$. El conjunto de producción de las empresas cumple los supuestos de libre disponibilidad, *no free lunch*, es un conjunto cerrado e incluye la posibilidad inacción. Por otro lado, el hogar representativo h oferta el factor trabajo $a(h) = \{l\}$ y demanda el conjunto de bienes $b(h) \subset I,\ b(h) \neq \emptyset$. La preferencia del hogar se asume racional, continua, localmente no satisfecha y estrictamente convexa.

Las correspondencias $a(j)$ y $b(j)$ se encuentran definidas de tal manera que todos los bienes tienen al menos un proveedor y un comprador.

$$\forall i \in I \cup \{l\}, \exists j, j' \in V, j \neq j' \mid \{i\} = a(j) \ \wedge \ i \in b(j') \qquad [1]$$

Estas correspondencias asumen que las empresas se dedican exclusivamente a la producción de un solo tipo de bien, ya sea bien de consumo intermedio o final, no ambos. En términos formales, sea $I^{\mathrm{m}} = I \backslash b(h)$ el conjunto de bienes de consumo intermedio de cardinalidad M^{m}, y $I^{\mathrm{g}} = b(h)$ el conjunto de bienes de consumo final de cardinalidad M^{g}. Asimismo, sea $J^{\mathrm{m}} = \{j \in J \mid a(j) \subset I^{\mathrm{m}}\}$ el conjunto de empresas que producen bienes de consumo intermedio de cardinalidad N^{m}, y $J^{\mathrm{g}} = \{j \in J \mid a(j) \subset I^{\mathrm{g}}\}$ el conjunto de empresas que producen bienes de consumo final de cardinalidad N^{g}. De esta manera se cumple que:

$$J^{\mathrm{m}} \cap J^{\mathrm{g}} = \emptyset, J^{\mathrm{m}} \cup J^{\mathrm{g}} = J$$

Sea $c(k, i)$ el conjunto de proveedores potenciales del insumo $i \in b(k) \backslash \{l\}$ para la empresa $k \in J$. Este conjunto, para toda empresa y todo insumo distinto de trabajo, se asume está integrado por dos proveedores potenciales $c(k, i) = \{j, \bar{j}\}$, donde j es el proveedor habitual, es decir, aquella empresa a la cual contrata regularmente el comprador k para la provisión del insumo i; y $\bar{j}$ es el proveedor rival, es decir, aquella empresa que nunca antes ha transado con el comprador k y que trata de desplazar al proveedor j.

En términos formales, el conjunto $c(k,i)$ cumple con la siguiente condición:

$$\forall k \in J, \forall i \in b(k), \exists c(k,i) = \{j, \bar{j}\} \subset J^{\mathrm{m}}, j \neq \bar{j} \mid a(\bar{j}) = a(j) = \{i\}$$

Las correspondencias $a(j)$, $b(j)$, $c(k,i)$ permiten definir la estructura de la red productiva. Aquí, la arista (j,k) forma parte de la red $R = (V, \Gamma)$ en cualquiera de los siguientes casos: el hogar representativo h provee trabajo a las empresas $k \in J$; la empresa $j \in J$ produce bienes de consumo final para el hogar representativo $k = h$; o la empresa j es un proveedor (habitual o rival) de la empresa k. Estas condiciones se pueden expresar de la siguiente manera:

$$\begin{gathered} \forall j \in J, \quad a(h) \cap b(j) \neq \emptyset \Rightarrow (h,j) \in \Gamma \\ \forall j \in J, \quad a(j) \cap b(h) \neq \emptyset \Rightarrow (j,h) \in \Gamma \\ \forall j,k \in J, j \neq k: \exists i \in b(k) \mid j \in c(k,i) \Rightarrow (j,k) \in \Gamma \end{gathered}$$

En esta red, el comportamiento de las empresas como compradoras de insumos se basa en un enfoque de elección probabilística. Cada empresa $k \in J$ establece una probabilidad ψ_{jk} de asignar efectivamente el contrato de provisión del insumo i al proveedor $j \in c(k,i)$. Este comportamiento se produce por la falta de información que posee el comprador respecto a sus proveedores y el *trade-off* entre beneficio esperado y riesgo que afronta. El planteamiento formal de este proceso de elección se realiza en la siguiente sección.

Por tanto, las probabilidades ψ_{jk} dependen de los precios de venta que establecen los proveedores en la red productiva. Sea $p^{\mathrm{m}} = \left(p_{jk}^{\mathrm{m}}\right) \in \mathbb{R}_+^N \times \mathbb{R}_+^{N^{\mathrm{m}}}$ los precios que establecen las empresas que producen bienes intermedios, donde p_{jk}^{m} es el precio de oferta del proveedor j a la empresa k, cuando $j \in c(k,i), a(j) = \{i\}$. Entonces, la probabilidad ψ_{jk} que tiene el comprador k de contratar el proveedor habitual j se encuentra determinada por el precio que ofrece este proveedor p_{jk}^{m} y el precio que ofrece el proveedor rival $p_{\bar{j}k}^{\mathrm{m}}$:

$$\forall k \in J, \forall i \in b(k), \qquad \psi_{jk} = \psi_{jk}\left(p_{jk}^{\mathrm{m}}, p_{\bar{j}k}^{\mathrm{m}}\right) \quad j, \bar{j} \in c(k,i)$$

Estas funciones permiten definir el espacio probabilístico (Ω, Ψ), donde $\Omega = \left\{\omega = \left(V, \hat{\Gamma}\right) \mid \hat{\Gamma} \subseteq \Gamma\right\}$ es el conjunto de realizaciones de la red productiva $R = (V, \Gamma)$. Aquí, la arista $(j,k) \in \hat{\Gamma}$ si la empresa k efectivamente asignó el contrato de provisión a la empresa j (Cabe subrayar que cada realización $\omega \in \Omega$ representa un conjunto diferente de transacciones efectivas entre las empresas, es decir representa un subgrafo de R). Por otro lado, $\Psi(\omega \mid p^{\mathrm{m}})$ es la probabilidad de la realización $\omega \in \Omega$, dado los precios p^{m}.

El conjunto de realizaciones Ω asume que toda empresa puede ofertar su producto a uno o más compradores (o a ninguno), y que puede demandar cualquier insumo desde un solo proveedor. Formalmente, sea $\hat{\Gamma}(\omega)$ las transacciones de compra-venta de la realización $\omega \in \Omega$. Sean $\Delta_j^+(\omega) = \{k \epsilon V \mid (j,k) \in \hat{\Gamma}(\omega)\}$ y $\Delta_{ji}^-(\omega) = \{k \epsilon V \mid (k,j) \in \hat{\Gamma}(\omega), a(k) = \{i\}\}$ dos operadores que muestran los compradores y proveedores de la empresa j en dicha realización, respectivamente. Entonces, el conjunto Ω cumple:

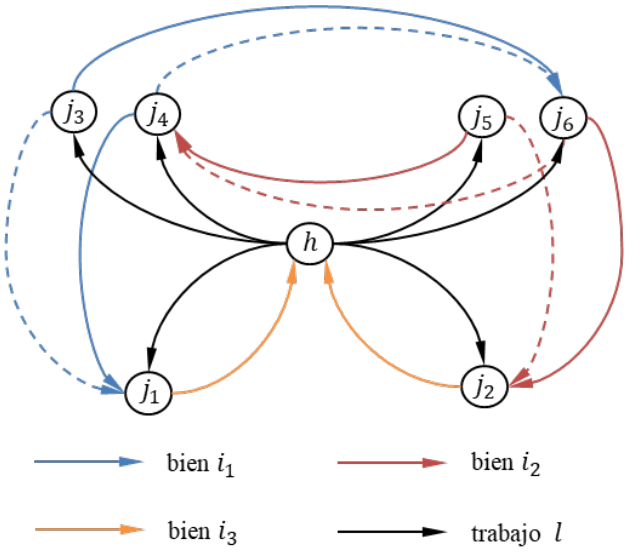
$$\forall \omega \in \Omega, \forall j \in J, \forall i \in I \quad \left|\Delta_j^+(\omega)\right| \geq 0, \qquad \left|\Delta_{ji}^-(\omega)\right| = 1$$

Asimismo, se asume que todas las transacciones entre las empresas J y el hogar representativo h son efectivas en cualquier realización $\omega \in \Omega$, por lo que el conjunto Ω cumple, además:

$$\forall \omega \in \Omega, \forall j \in J \mid (a(j) \cap b(h) \neq \emptyset \vee a(h) \cap b(j) \neq \emptyset), \qquad \{(j,h), (h,j)\} \subset \hat{\Gamma}(\omega)$$

Para apreciar el planteamiento del modelo, consideremos la red productiva que se ilustra en la Figura 1. En esta red existen 6 empresas $J = \{j_1, j_2, j_3, j_4, j_5, j_6\}$ y un hogar representativo h, que interactúan en 3 mercados de bienes $I = \{i_1, i_2, i_3\}$ y el mercado de trabajo l.

Figura 1. Ejemplo de Red Productiva *R*.



Nota. Esta figura ilustra un ejemplo de red productiva. Cada nodo representa una empresa, cada arista representa una transacción potencial de compra-venta, y cada color identifica un bien. Si las aristas se encuentran en línea continua, se trata de la oferta del proveedor habitual; y si las aristas se encuentran en línea discontinua, la oferta es del proveedor rival.
Fuente: Elaboración propia.

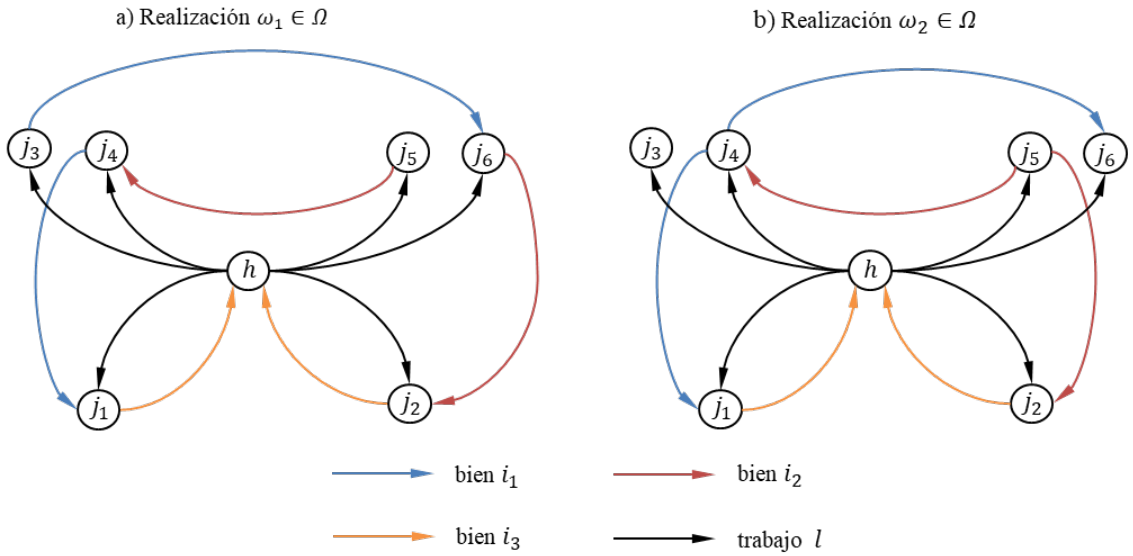
La producción de las empresas se encuentra definida por los productos $a(j_1) = \{i_3\}$, $a(j_2) = \{i_3\}$, $a(j_3) = \{i_1\}$, $a(j_4) = \{i_1\}$, $a(j_5) = \{i_2\}$, $a(j_6) = \{i_2\}$; mientras que su demanda de insumos está definida por los conjuntos $b(j_1) = \{i_1, l\}$, $b(j_2) = \{i_2, l\}$, $b(j_3) = \{l\}$, $b(j_4) = \{i_2, l\}$, $b(j_5) = \{l\}$, $b(j_6) = \{i_1, l\}$. Por otro lado, la preferencia del hogar representativo se encuentra definida sobre los ítems $a(h) = \{l\}$ y $b(h) = \{j_1, j_2\}$.

Las transacciones se encuentran señaladas mediante distintos colores. Las transacciones del bien i_1 se dibujan en color azul, las transacciones del bien i_2 en color rojo, las transacciones del bien i_3 en color naranja, y las transacciones de trabajo en color negro. Como se puede observar, los mercados $I^{\text{m}} = \{i_1, i_2\}$ son los mercados de bienes de consumo intermedio donde participan las empresas $J^{\text{m}} = \{j_3, j_4, j_5, j_6\}$; mientras que el mercado $I^{\text{g}} = \{i_3\}$ es el mercado de consumo final donde participan las empresas $J^{\text{g}} = \{j_1, j_2\}$.

Los proveedores habituales y rivales de cada empresa se distinguen mediante aristas continuas y entrecortadas, respectivamente. Por ejemplo, la empresa j_2 tiene como proveedor habitual del bien i_2 a la empresa j_6 y como proveedor rival a la empresa j_5 (e.d. $c(j_2, i_1) = \{j_6, \bar{j}_5\}$) . Asimismo, la empresa j_6 tiene como proveedor habitual del bien i_1 a la empresa j_3 y como proveedor rival a la empresa j_4 (e.d. $c(j_6, i_1) = \{j_3, \bar{j}_4\}$).

Dos realizaciones de esta red productiva se ilustran en la Figura 2.

Figura 2. Ejemplos de realizaciones de la red productiva.



Nota. Esta figura muestra dos realizaciones de la red productiva de la Figura 1. La Figura 2.a muestra las transacciones exclusivamente con los proveedores habituales, mientras que la Figura 2.b muestra las transacciones con algunos proveedores rivales.

Fuente: Elaboración propia.

En la realización ω_1 todas las empresas adquieren los insumos desde sus correspondientes proveedores habituales. Por ejemplo, la empresa j_2 elige contratar a su proveedor habitual j_6 (e.d. $(j_6, j_2) \in \omega_1$), y la empresa j_6 elige contratar a su proveedor habitual j_3 (e.d. $(j_3, j_6) \in \omega_1$). Por otro lado, en la realización ω_2 algunos compradores se relacionan con sus proveedores rivales. Aquí, la empresa j_2 decide contratar a su proveedor rival j_5 (e.d. $(j_5, j_2) \in \omega_2$) y la empresa j_6 decide contratar a su proveedor rival j_4 (e.d. $(j_4, j_6) \in \omega_2$). Cabe resaltar en esta realización que las decisiones de los compradores hacen que las empresas j_4 y j_5 monopolicen el mercado de los bienes i_1 y i_2, respectivamente.

Dadas las posibles realizaciones Ω de la red productiva $R = (V, \Gamma)$, las empresas y el hogar representativo toman su mejor decisión. Las empresas que producen bienes intermedios maximizan su beneficio esperado, para lo que deciden los precios de sus productos, dado la estructura de la red y las posibilidades de vender su producto a sus compradores. Las empresas que producen bienes de consumo final también maximizan su beneficio esperado, pero en mercados competitivos, es decir, no deciden precios sino cantidades. Por último, el hogar representativo maximiza su utilidad esperada mediante la demanda bienes finales y oferta de trabajo. A continuación, se explica el fundamento microeconómico del proceso de elección probabilística del comprador, antes de dar paso al comportamiento de los agentes económicos en el modelo.

2.1. Fundamento Microeconómico de la elección probabilística del comprador

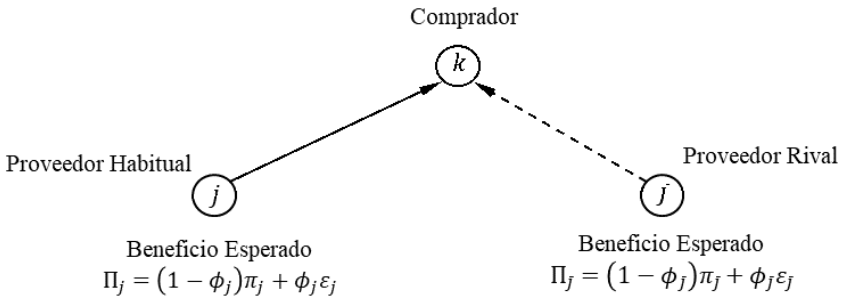
Como se manifestó en la sección anterior, la elección que realizan los compradores entre un proveedor u otro es probabilística; esto es, se supone que el comprador asigna una probabilidad a la contratación de sus proveedores.

Este tipo de elección se genera por la falta de información que posee el comprador en aspectos clave de la transacción como: calidad del producto, plazo de entrega, sistema de pagos o financiamiento, atención al cliente, capacidad de respuesta, costos de transporte, entre otros factores. Cuando el comprador interactúa repetidamente con un proveedor, adquiere conocimientos sobre estos factores, incluso adapta su proceso productivo a las características propias del insumo que proporciona ese

proveedor. Por ello, un proveedor que ha realizado transacciones antes y de manera regular con una empresa (es decir, un proveedor habitual) tiene una ventaja respecto a otro que no lo ha hecho (un proveedor rival), aún si el precio de la competencia es menor, otorgándole mayor probabilidad de vender su producto. Por supuesto, si el precio del proveedor rival es mucho menor al precio de proveedor habitual, el comprador podría estar interesado en cambiar de proveedor; no obstante, correría el riesgo de que alguna de las características del insumo que adquiera no cumpla con los requerimientos que éste necesita para su proceso productivo, pudiendo generarle pérdidas en lugar de ganancias.

Este tipo de elección se modela a continuación. Supongamos un comprador $k \in J$ y dos proveedores: un proveedor habitual j y un proveedor rival $\bar{\jmath}$ que suministran un mismo bien $a(j) = a(\bar{\jmath})$, tal como se muestra en la Figura 3. Ambos proveedores se desenvuelven en dos tipos escenarios: un escenario positivo en el que generan ganancias para el comprador y un escenario negativo en el que generan pérdidas.

Figura 3. Elección probabilística entre dos proveedores



	Valor ; Probabilidad	Valor ; Probabilidad
Escenario Positivo	$\pi_j > 0\ ;\ (1-\phi_j)$	$\pi_{\bar{\jmath}} > 0;\ (1-\phi_{\bar{\jmath}})$
Escenario negativo	$\varepsilon_j < 0\ ;\ \ \phi_j$	$\varepsilon_{\bar{\jmath}} < 0\ ;\ \ \phi_{\bar{\jmath}}$

Nota. Esta figura muestra el planteamiento de la elección probabilística que realiza el comprador entre dos proveedores. El nodo k representa el comprador, mientras que los nodos $j, \bar{\jmath}$ representan los proveedores habituales y rivales, respectivamente. El cuadro inferior muestra las ganancias y la probabilidad de realizar transacciones con cada proveedor en dos escenarios: un escenario con ganancias y otro escenario con pérdidas.

Fuente: Elaboración propia.

De esta manera, si el comprador decide contratar al proveedor habitual j, entonces su beneficio esperado será $\Pi_j = (1-\phi_j)\pi_j + \phi_j\varepsilon_j$, donde π_j, ε_j son los montos de ganancias y pérdidas con este proveedor, respectivamente, y ϕ_j es el riesgo de pérdida. De la misma forma, si el comprador decide contratar al proveedor rival $\bar{\jmath}$, entonces su beneficio esperado será $\Pi_{\bar{\jmath}} = (1-\phi_{\bar{\jmath}})\pi_{\bar{\jmath}} + \phi_{\bar{\jmath}}\varepsilon_{\bar{\jmath}}$, donde $\pi_{\bar{\jmath}}, \varepsilon_{\bar{\jmath}}$ son los montos de ganancias y pérdidas con este proveedor, respectivamente, y $\phi_{\bar{\jmath}}$ es el riesgo de pérdida. En ambos casos, las pérdidas ε_j y $\varepsilon_{\bar{\jmath}}$ pueden ser tan altas como para ser consideradas magnitudes de catástrofe $(\varepsilon_j, \varepsilon_{\bar{\jmath}} \ll 0)$.

Supongamos que la contratación del proveedor rival $\bar{\jmath}$ genera un mayor beneficio esperado que la contratación del proveedor habitual j; sin embargo, posee una mayor pérdida esperada.

$$\Pi_{\bar{\jmath}} > \Pi_j, \qquad \phi_{\bar{\jmath}}\varepsilon_{\bar{\jmath}} < \phi_j\varepsilon_j$$

Estos aspectos generan una disyuntiva en la decisión del comprador. ¿Cuál proveedor contratar? ¿El proveedor que ofrece mayor beneficio o el que ofrece menor riesgo? Si el comprador está interesado solamente en maximizar el beneficio entonces escogerá contratar al proveedor rival $\bar{\jmath}$, pero sí en cambio está interesado en minimizar el riesgo entonces escogerá contratar al proveedor habitual j.

Si el comprador k pondera simultáneamente la variación del beneficio esperado y el riesgo que significa contratar a un determinado proveedor, su decisión no será necesariamente determinística. Sea ψ_{jk} la probabilidad que asigna el comprador a la contratación del proveedor habitual j, y $\psi_{\bar{\jmath}k} = (1 - \psi_{jk})$ la probabilidad que asigna el comprador a la contratación del proveedor rival $\bar{\jmath}$. Sea g una función de evaluación que mide el trade-off entre la variación de la ganancia esperada y riesgo para la probabilidad ψ_{jk}. Decimos que el comprador quiere un valor mínimo en esta ponderación cuando:

$$g\left(\widehat{\Pi}(\psi_{jk}), \hat{\mathcal{E}}(\psi_{jk})\right) \geq \beta$$

donde $\widehat{\Pi}(\psi_{jk}) = (1 - \psi_{jk})(\Pi_{\bar{\jmath}} - \Pi_j)$ es el diferencial de beneficio esperado, $\hat{\mathcal{E}}(\psi_{jk}) = (1 - \psi_{jk})(\phi_{\bar{\jmath}}\varepsilon_{\bar{\jmath}} - \phi_j\varepsilon_j)$ es el diferencial de perdida esperada y β es un valor mínimo de preferencia para el trade-off.

Se asume que g es una función continua, creciente y cóncava ($g_1 \geq 0, g_2 \geq 0, g_{11} \leq 0, g_{22} \leq 0, g_{12} \geq 0$). Por simplicidad, esta función se representa mediante una función univariante $f(\psi_{jk})$:

$$f(\psi_{jk}) = g\left(\widehat{\Pi}(\psi_{jk}), \hat{\mathcal{E}}(\psi_{jk})\right)$$

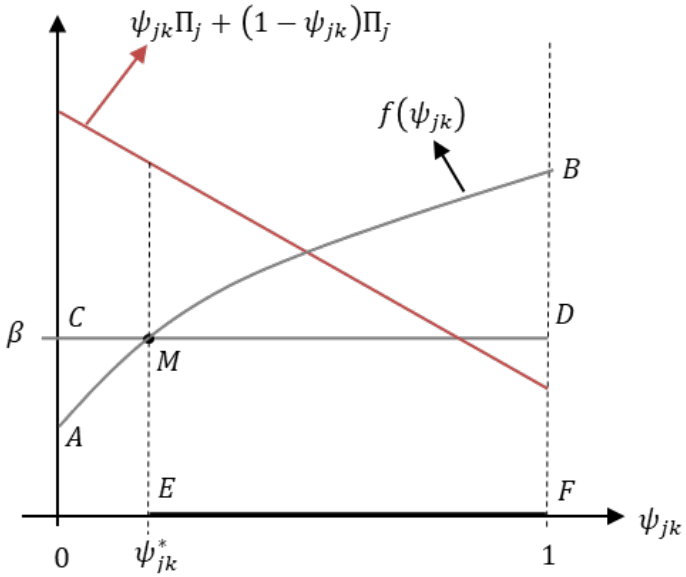
En este contexto, el problema del comprador k consiste en hallar la probabilidad ψ_{jk} que maximiza el beneficio esperado de contratar a los proveedores $j, \bar{\jmath}$; sujeto a la restricción de trade-off entre beneficio y riesgo.

$$\begin{aligned} &\max_{\psi_{jk}} \ \psi_{jk}\Pi_j + (1 - \psi_{jk})\Pi_{\bar{\jmath}} \\ &s.r \\ &f(\psi_{jk}) \geq \beta \\ &0 \leq \psi_{jk} \leq 1 \end{aligned} \qquad [2]$$

La solución de este problema se ilustra en la Figura 4 para una situación cuando $\Pi_{\bar{\jmath}} > \Pi_j$ y $\phi_{\bar{\jmath}}\varepsilon_{\bar{\jmath}} < \phi_j\varepsilon_j$.

Para que exista una solución interior, se asume que $f(1) > \beta$, $f(0) < \beta$. La curva AB representa la función $f(\psi_{jk})$ y la recta CD representa la horizontal correspondiente al valor de la ordenada β. Ambas líneas cortan en el punto M y delimitan el conjunto factible $f(\psi_{jk}) \geq \beta$ mediante el segmento de recta EF. Por otro lado, la línea roja representa la función de beneficio esperado $\psi_{jk}\Pi_j + (1 - \psi_{jk})\Pi_{\bar{\jmath}}$. De esta manera, se puede observar que la solución del problema [2] se alcanza en el punto E. En este punto se genera el mayor valor esperado, de manera que la probabilidad ψ_{jk}^* cumpla el trade-off entre beneficio y riesgo.

Figura 4. Solución del problema de elección probabilística.



Nota. Esta figura muestra la solución al problema de elección probabilística [2] cuando $\Pi_{\bar{j}} > \Pi_j$ y $\phi_{\bar{j}}\varepsilon_{\bar{j}} < \phi_j\varepsilon_j$. El eje de las abscisas representa la probabilidad de transacción ψ_{jk} y el eje de las ordenadas representa el total de beneficio esperado. La curva AB representa la función de trade-off $f(\psi_{jk})$, la línea CD representa la horizontal correspondiente al valor mínimo de preferencia β y la recta EF representa el conjunto factible del problema. La línea roja representa la función de beneficio esperado $\psi_{jk}\Pi_j + (1-\psi_{jk})\Pi_{\bar{j}}$ que se desea maximizar y que alcanza su óptimo en el punto E.

Fuente: Elaboración propia.

Realicemos un análisis de estática comparativa de esta solución cuando varían las ganancias. Para ello, calculemos la derivada de la probabilidad ψ^*_{jk} respecto a los beneficios Π_j y $\Pi_{\bar{j}}$. Utilizando el teorema de la derivada implícita se obtiene:

$$\frac{\partial \psi^*_{jk}}{\partial \Pi_j} = \frac{g_1(1-\psi^*_{jk})}{f'} > 0$$

$$\frac{\partial \psi^*_{jk}}{\partial \Pi_{\bar{j}}} = -\frac{g_1(1-\psi^*_{jk})}{f'} < 0$$

Ambos efectos presentan los signos esperados. Si el beneficio esperado Π_j aumenta (a consecuencia por ejemplo de una disminución del precio de los insumos que oferta el proveedor habitual), o si el beneficio esperado $\Pi_{\bar{j}}$ disminuye (a consecuencia de un aumento del precio de los insumos que oferta el proveedor rival), entonces el comprador incrementará la probabilidad de contratar al proveedor habitual j y, por lo tanto, reducirá la probabilidad de contratar al proveedor rival $\bar{j}$.

Una de las ventajas que tiene el problema [2] es la representación de diferentes grados de competitividad en el mercado específico que enfrenta una empresa al demandar un insumo. Por ejemplo, una percepción por parte del comprador de altísimo riesgo de contratar a un proveedor diferente al habitual ($\phi_{\bar{j}} = 1$), haría que este último se comporte como un monopolista respecto a ese comprador. Eso podría suceder cuando el comprador requiere características muy específicas en un insumo, cuando la calidad del producto es difícil de conocer ex-ante, y/o las consecuencias de un error en el tiempo, lugar o detalles de la provisión son muy altas. Por otro lado, si se trata de un insumo de características estándar, fácilmente verificables ex-ante y de costos bajos en caso de falla, ambos proveedores tendrían la capacidad de ofrecer un similar beneficio y riesgo para el comprador ($\Pi_{\bar{j}} = \Pi_j;\ \varepsilon_{\bar{j}}\phi_{\bar{j}} = \varepsilon_j\phi_j$), por lo que estaríamos hablando de un mercado competitivo (e.d. ambos proveedores serian precio-aceptantes).

Tal como se señaló, una de nuestras aportaciones es incluir el riesgo en la toma de decisiones de los productores, a diferencia de Carvalho (2010), Carvalho & Gabaix (2013), Stella (2015), Acemoglu et al. (2016), Acemoglu et al. (2017) y Atalay (2017) (entre otros) que suponen choques aleatorios que, una vez realizado es perfectamente conocido por los agentes; es decir, estos toman decisiones en certidumbre.

2.2. Comportamiento de los agentes en el modelo

2.2.1. Empresas de bienes intermedios

La decisión de cada empresa $j \epsilon J^{\text{m}}$ consiste en hallar el vector de precios $p_j^{\text{m}} = \left(p_{j1}^{\text{m}}, \dots, p_{jN}^{\text{m}}\right)' \in \mathbb{R}_+^N$ para la venta del bien $a(j)$ a sus compradores potenciales en la red, de manera que maximice el beneficio esperado sobre el conjunto de realizaciones Ω.

Formalmente, este problema tiene el siguiente planteamiento:

$$\begin{aligned} &\max_{p_j^{\text{m}}} \; E\left[\pi_j \mid p_j^{\text{m}}, p_{-j}^{\text{m}}\right] = \sum_{\omega \in \Omega} \Psi\left(\omega \mid p_j^{\text{m}}, p_{-j}^{\text{m}}\right) \; \pi_j\left(p_j^{\text{m}}, p_{-j}^{\text{m}}, \omega\right) \\ &p_{jk}^{\text{m}} \geq 0, \; \forall k \in \Delta_j^+(R) \\ &p_{jk}^{\text{m}} = 0, \; \forall k \notin \Delta_j^+(R) \end{aligned} \qquad [3]$$

donde $p_{-j}^{\text{m}} = \left(p_1^{\text{m}}, \dots, p_{j-1}^{\text{m}}, p_{j+1}^{\text{m}}, \dots, p_{N^{\text{m}}}^{\text{m}}\right) \in \mathbb{R}_+^N \times \mathbb{R}_+^{N^{\text{m}}-1}$ son los vectores de precios que deciden las empresas que producen bienes intermedios, excepto la empresa j; $\Delta_j^+(R) = \{k \epsilon V \mid (j,k) \in \Gamma\}$ es el conjunto de compradores potenciales de la empresa j; y $\Psi\left(\omega \mid p_j^{\text{m}}, p_{-j}^{\text{m}}\right)$ es la probabilidad condicionada de la realización $\omega \in \Omega$ dado los precios p_j^{m} y p_{-j}^{m}. Notar que $p^{\text{m}} = \left(p_j^{\text{m}}, p_{-j}^{\text{m}}\right) \in \mathbb{R}_+^N \times \mathbb{R}_+^{N^{\text{m}}}$.

Esta probabilidad se encuentra determinada por la siguiente función:

$$\Psi(\omega \mid p^{\text{m}}) = \prod_{(j,k) \in \hat{\Gamma}(\omega)} \psi_{jk}$$

donde ψ_{jk} es la probabilidad de que el comprador k contrate al proveedor j para adquirir el insumo $i \in b(k)$; y $\hat{\Gamma}(\omega)$ es el conjunto de transacciones en la realización $\omega \in \Omega$. Estas probabilidades tienen su fundamento microeconómico en la sección anterior.

Para el caso de un proveedor habitual j, estas probabilidades se asumen crecen cuando disminuye los precios de venta de este proveedor p_{jk}^{m}, o cuando aumentan los precios de venta del proveedor rival $p_{\bar{j}k}^{\text{m}}$.

$$\forall k \in J, \forall i \in b(k), \qquad \psi_{jk} = \psi_{jk}\left(p_{jk}^{\text{m}}, p_{\bar{j}k}^{\text{m}}\right) \quad \{j, \bar{j}\} = c(k,i)$$

$$\frac{\partial \psi_{jk}}{\partial p_{jk}^{\text{m}}} \leq 0, \frac{\partial \psi_{jk}}{\partial p_{\bar{j}k}^{\text{m}}} \geq 0$$

Por complementariedad, lo contrario sucede para la probabilidad de contratación del proveedor rival $\bar{j}$

$$\forall k \in J, \forall i \in b(k), \qquad \psi_{\bar{j}k} = 1 - \psi_{jk}\left(p_{jk}^{\text{m}}, p_{\bar{j}k}^{\text{m}}\right) \quad j, \bar{j} \in c(k,i)$$

Por otro lado, $\pi_j\left(p_j^{\text{m}}, p_{-j}^{\text{m}}, \omega\right)$ representa la ganancia que obtiene la empresa j por vender su producto en la realización $\omega \in \Omega$. Esta función se encuentra determinada por:

$$\pi_j\left(p_j^{\text{m}}, p_{-j}^{\text{m}}, \omega\right) = \sum_{k \in \Delta_j^+(\omega)} p_{jk}^{\text{m}}\, z_{ki}\left(p_{jk}^{\text{m}}, p_{-j}^{\text{m}}, y_k(\omega), w(\omega)\right) - c_j\left(p_{-j}^{\text{m}}, y_j(\omega), w(\omega)\right)$$

La función $z_{ki}\left(p_{jk}^{\text{m}}, p_{-j}^{\text{m}}, y_k(\omega), w(\omega)\right)$ es la demanda condicionada de la empresa k respecto al bien $i = a(j)$, la cual depende del precio de venta p_{jk}^{m} , los precios p_{-j}^{m}, la producción del comprador $y_k(\omega)$ y el salario $w(\omega)$. Por otro lado, la función $c_j\left(p_{-j}^{\text{m}}, y_j(\omega), w(\omega)\right)$ es la función de costo mínimo de la empresa j, la cual se encuentra definida para los precios p_{-j}^{m}, el nivel de producción del proveedor $y_j(\omega)$ y el salario $w(\omega)$. Estas funciones se muestran en el Anexo A para una tecnología tipo CES de retornos constantes de escala.

De esta forma, en este modelo se introduce la posibilidad de diversos grados de poder de mercado y competencia imperfecta, basados en la heterogeneidad de los insumos, lo que diferencia este trabajo de las contribuciones de Carvalho (2010) y de Acemoglu et al. (2012), por ejemplo, que consideran competencia perfecta.

2.2.2. Empresas de bienes de consumo final

Las empresas J^{g} realizan su actividad en mercados perfectamente competitivos. Estas empresas deciden cuánto producir en cada realización $\omega \in \Omega$ con el objetivo de maximizar su beneficio esperado, asumiendo que los precios de los bienes de consumo final son únicos y fijos para cada mercado.

Formalmente, la empresa $j \epsilon J^{\text{g}}$ enfrenta el siguiente problema de decisión:

$$\max_{y_j(\omega)} \sum_{\omega \in \Omega} \Psi(\omega \mid p^{\text{m}}) \cdot \pi_j\left(y_j(\omega)\right) \qquad [4]$$

donde $y_j(\omega) \in \mathbb{R}_+$ es la producción de la empresa j en la realización $\omega \in \Omega$; y $\pi_j\left(y_j(\omega)\right)$ es el beneficio para ese nivel de producción. Esta función se encuentra definida por:

$$\pi_j\left(y_j(\omega)\right) = p_i^{\text{g}}(\omega)\, y_j(\omega) - c_j\left(p_{-j}^{\text{m}}, y_j(\omega), w(\omega)\right)$$

donde $p_i^{\text{g}}(\omega) \in \mathbb{R}_+$ es el precio del bien $i = a(j)$ que produce la empresa j en la realización $\omega \in \Omega$, y $c_j\left(p_{-j}^{\text{m}}, y_j(\omega), w(\omega)\right)$ es la función de costo mínimo para dicha realización.

2.2.3. El Hogar representativo

El hogar representativo maximiza su utilidad esperada, para lo que decide qué cantidad de cada bien demandar y cuanto trabajo ofertar en cada realización $\omega \in \Omega$ sujeto a una restricción presupuestaria. En esta restricción, el hogar no solo recibe ingresos por ofertar mano de obra, sino también por ser dueño del capital de las empresas.

Formalmente, el comportamiento de este agente se representa de la siguiente manera:

$$\begin{aligned} &\max_{x(\omega), l_h(\omega)} \sum_{\omega \in \Omega} \Psi(\omega \mid p^{\text{m}}) \cdot U\left(x(\omega), l_h(\omega)\right) \\ &\sum_{i \epsilon I^{\text{g}}} p_i^{\text{g}}(\omega) x_i(\omega) = \pi(\omega) + w(\omega) \cdot l_h(\omega), \ \forall \omega \in \Omega \end{aligned} \qquad [5]$$

donde $U\big(x(\omega), l_h(\omega)\big)$ es la función de utilidad del consumidor, $x(\omega) = \big(x_1(\omega), \dots, x_{M^{\mathfrak{g}}}(\omega)\big)' \in \mathbb{R}_+^{M^{\mathfrak{g}}}$ es el vector de consumo en la realización $\omega \in \Omega$, $p^{\mathfrak{g}}(\omega) = \Big(p_1^{\mathfrak{g}}(\omega), \dots, p_{M^{\mathfrak{g}}}^{\mathfrak{g}}(\omega)\Big)' \in \mathbb{R}_+^{M^{\mathfrak{g}}}$ es el vector de precios de los bienes de consumo final, $l_h(\omega) \in \mathbb{R}_+$ es la oferta de mano de obra, y $\pi(\omega)$ es el total de ganancias de las empresas.

$$\pi(\omega) = \sum_{j \in J^{\mathfrak{m}}} \pi_j(\omega) + \sum_{j \in J^{\mathfrak{g}}} \pi_j(\omega)$$

La solución de este problema para preferencias tipo CES se muestra en el Anexo A.

2.3. Equilibrio General de Mercado (EGM)

El comportamiento e interacción de las empresas y el hogar representativo en la red productiva permite determinar lo que denominamos el Equilibrio General de Mercado (EGM). Este equilibrio representa un sistema de precios y cantidades para el que las empresas y el hogar toman su mejor decisión de acuerdo a los problemas planteados anteriormente.

Cabe recalcar que estas decisiones son óptimas ex-ante, pues los agentes económicos maximizan el valor esperado de su beneficio o utilidad. Solo en el caso de los hogares y las empresas de bienes finales, estas decisiones son óptimas ex-post ya que no afectan la elección probabilística de los compradores (e.d. $\Psi(\omega | \, p^{\mathfrak{m}})$ es exógena); mientras que para las empresas de bienes intermedios esta situación no ocurre. En este sentido, es primordial establecer ciertas consideraciones para asegurar que las transacciones de compra-venta se efectúen en cualquier realización $\omega \in \Omega$, incluso en aquellas realizaciones donde las empresas de bienes intermedios podrían obtener beneficios menores a los esperados.

Supuesto 1. Equilibrio local ex-post en el mercado de bienes intermedios

Los proveedores de bienes intermedios tienen derecho de definir el precio de su producto; mientras que los compradores de dichos bienes tienen el derecho de definir su demanda, sin que los proveedores puedan negarse a producir la cantidad que ellos requieren una vez decididos los precios.

Este supuesto elimina la posibilidad de racionamiento y agrega un rasgo de equilibrio local para el mercado especifico de cada proveedor.

$$\forall \omega \in \Omega, \forall j \in J^{\mathfrak{m}}, \; y_j(\omega) = \textstyle\sum_{k \in \Delta_j^+(\omega)} z_{ki}(\omega) \qquad [6]$$

Supuesto 2. Equilibrio global ex-post en el mercado de bienes de consumo final

Las empresas de bienes de consumo final y el hogar representativo tienen el mismo derecho de definir la demanda y oferta de bienes, respectivamente.

$$\forall \omega \in \Omega, \forall i \in I^{\mathfrak{g}}, \; x_i(\omega) = \textstyle\sum_{j \in J^{\mathfrak{g}} | \, a(j) = \{i\}} y_j(\omega) \qquad [7]$$

Supuesto 3. Equilibrio global ex-post en el mercado de trabajo

Las empresas y el hogar representativo tienen el mismo derecho de definir la demanda y oferta de trabajo, respectivamente.

$$\forall \omega \in \Omega, \; l_h(\omega) = \textstyle\sum_{i \in J} l_j(\omega) \qquad [8]$$

donde $l_j(\omega)$ es la demanda de trabajo de la empresa $j \in J$ en la realización $\omega \in \Omega$.

Es necesario resaltar que todas las variables que conforman estos equilibrios se encuentran en función de los precios de bienes de consumo intermedio $p^{\mathfrak{m}}$, los precios de bienes de consumo final $p^{\mathfrak{g}}(\omega)$ y el salario $w(\omega)$, de acuerdo a los problemas de decisión descritos anteriormente.

Definición 1. Equilibrio General de Mercado (EGM)

El Equilibrio General de Mercado es aquel sistema de precios y cantidades $\Lambda = (p^{\mathfrak{m}*}, \{x^*(\omega), y^*(\omega), p^{\mathfrak{g}*}(\omega), w^*(\omega)\}_{\omega\in\Omega})$ *determinado por los comportamientos* [3], [4] y [5] *y las condiciones de equilibrio ex-post* [6], [7] y [8].

El EGM comparte algunas características del equilibrio walrasiano. Por ejemplo, los precios de los bienes de consumo final $p^{\mathfrak{g}*}(\omega)$ y el salario $w^*(\omega)$ se determinan de tal forma que limpian los mercados de bienes finales y mano de obra en cada realización $\omega \in \Omega$. De hecho, debido a la restricción presupuestaria del hogar representativo, se cumple la ley de Walras, por lo que es suficiente considerar el equilibrio local en el mercado de bienes intermedios [6] y el equilibrio global en el mercado de bienes finales [7], para alcanzar el equilibrio global en el mercado laboral [8]. Pese a esta similitud, el EGM no constituye en sí mismo un equilibrio walrasiano, ya que considera un fenómeno de fijación y discriminación de precios en la oferta de bienes intermedios.

Asimismo, el EGM tiene fuerte sintonía con el concepto del equilibrio de Nash, puesto que los precios $p^{\mathfrak{m}*}$ se determinan de manera interdependiente, tomando en cuenta las estrategias de cada una de las empresas dado sus posibles transacciones en la red productiva. De acuerdo al problema [3], cada empresa $j\epsilon J^{\mathfrak{m}}$ fija su vector de precios $p_j^{\mathfrak{m}*}$ de manera que maximice su beneficio esperado, asumiendo que el resto de proveedores actúa de la misma forma para los precios $p_{-j}^{\mathfrak{m}*}$. Es esta interacción la que establece los precios en la red y la que condiciona el comportamiento del resto de agentes en el modelo.

La existencia de este equilibrio se demuestra en el Anexo B cuando se tiene un hogar representativo con preferencias Cobb-Douglas sin preferencia al ocio, las empresas tienen una tecnología Marx-Leontief en la demanda de insumos, la producción de cada bien de consumo final se realiza a través de una firma representativa y la función de trade-off en el problema de elección probabilística de los compradores tiene una especificación lineal.

2.4. Quiebra de empresas

En el presente modelo se supone que las empresas quiebran de manera aleatoria de acuerdo a un proceso estocástico en el que se tiene en cuenta su desempeño económico en periodos anteriores. En este proceso, cada periodo de tiempo se encuentra delimitado por el EGM que ha sido alcanzado por las empresas que subsistieron hasta ese instante.

En términos formales, sea $\{s_t\}_{t\geq 0}$ un proceso estocástico que muestra el conjunto de empresas s_t que se encuentran activas en el periodo t (e.d. que permanecen en la red hasta ese instante), tal que $s_{t+1} \subseteq s_t$. Este proceso tiene la siguiente función de probabilidad:

$$H(v_{t+1}, v_t, \dots, v_{t-r}) = \Pr(s_{t+1} = v_{t+1}/s_t = v_t, \dots, s_{t-r} = v_{t-r}) \quad \forall t \geq 0, \forall v_{t+1}, v_t, \dots, v_{t-r} \epsilon \wp(J) \qquad [9]$$

donde $H(v_{t+1}, v_t, \dots, v_{t-r})$ es la probabilidad de que las empresas v_{t+1} se encuentren activas en el periodo $t+1$, dado que las empresas $v_t, \dots, v_{t-r}$ estuvieron activas en r periodos anteriores; y $\wp(J)$ representa el conjunto de posibles subconjuntos de J tal que se cumple la condición [1] y que cada empresa posee al menos un proveedor por insumo que requiere (e.d. $\forall s \in \wp(J), \forall k \in s, \forall i \in b(k), c(k,i) \neq \emptyset$).

En este proceso, cada conjunto de empresas s_t se encuentra asociado con su correspondiente equilibrio general de mercado Λ^{s_t} y espacio de realizaciones Ω^{s_t}. Para representar la dinámica del

conjunto de empresas s_t de acuerdo al proceso estocástico [9], y propiamente del conjunto de empresas que quiebran $J \backslash s_t$, se toman en cuenta los siguientes supuestos.

Supuesto 4. Independencia Intratemporal

Las empresas permanecen/quiebran de manera independiente en cada instante de tiempo, tomando en cuenta solo sus ganancias obtenidas en el pasado.

$$H(v_{t+1}, v_t, \dots, v_{t-r}) = \prod_{j \in v_{t+1}} \eta_j\left(\hat{\pi}_j \mid \Lambda^{v_t}, \dots, \Lambda^{v_{t-r}}\right) \quad [10]$$

donde $\eta_j\left(\hat{\pi}_j \mid \Lambda^{v_t}, \dots, \Lambda^{v_{t-r}}\right)$ es la probabilidad de que la empresa j se encuentre activa en el periodo $t+1$, dado los equilibrios $\Lambda^{v_t}, \dots, \Lambda^{v_{t-r}}$ en r periodos anteriores; y $\hat{\pi}_j = \left(\hat{\pi}_{j,t}, \dots, \hat{\pi}_{j,t-r}\right)' \in \mathbb{R}_+^r$ es el vector de ganancias observadas de la empresa j para esos periodos.

Supuesto 5. Dependencia Intertemporal

Cuanto menor sea el número de veces que las empresas obtuvieron ganancias positivas en el pasado, menor será su probabilidad de permanecer en la red y, por lo tanto, mayor será su probabilidad de quebrar.

$$\eta_j\left(\hat{\pi}_j \mid \Lambda^{v_t}, \dots, \Lambda^{v_{t-r}}\right) = f\left(\sum_{k=1}^{r} \mathbf{1}\left(\hat{\pi}_{j,t-k} > 0\right)\right), \ \frac{df}{dx} > 0 \quad [11]$$

donde $\mathbf{1}\left(\hat{\pi}_{j,t-k} > 0\right)$ es una función indicatriz que muestra cuándo la empresa obtuvo ganancias. Debido a que las empresas de bienes de consumo final operan en mercados perfectamente competitivos, sus ganancias siempre serán positivas en cualquier realización de la red, por lo que estas empresas siempre participarán en el mercado (e.d. $\eta_j = 1 \ \forall j \in J^g$).

Añadimos, así, a la quiebra de empresas y sus consecuencias en el análisis de la difusión de choques negativos en la red productiva. Nuestro modelo se diferencia del trabajo de Baqaee (2018) el cual es de corto plazo, ya que no asume la movilidad de los factores hasta alcanzar un nuevo equilibrio.

3. Simulación de choques negativos de productividad

La red que se emplea para la simulación del modelo posee 15 empresas $J = \{j_1, j_2, \dots, j_{15}\}$, 5 bienes $I = \{i_1, i_2, \dots, i_5\}$ y un hogar representativo H. Las empresas se dividen uniformemente en 5 niveles de encadenamientos. Cada nivel contiene 3 empresas que producen un mismo bien y que demandan un mismo. La Figura 5 ilustra esta red excluyendo las transacciones en el mercado laboral.

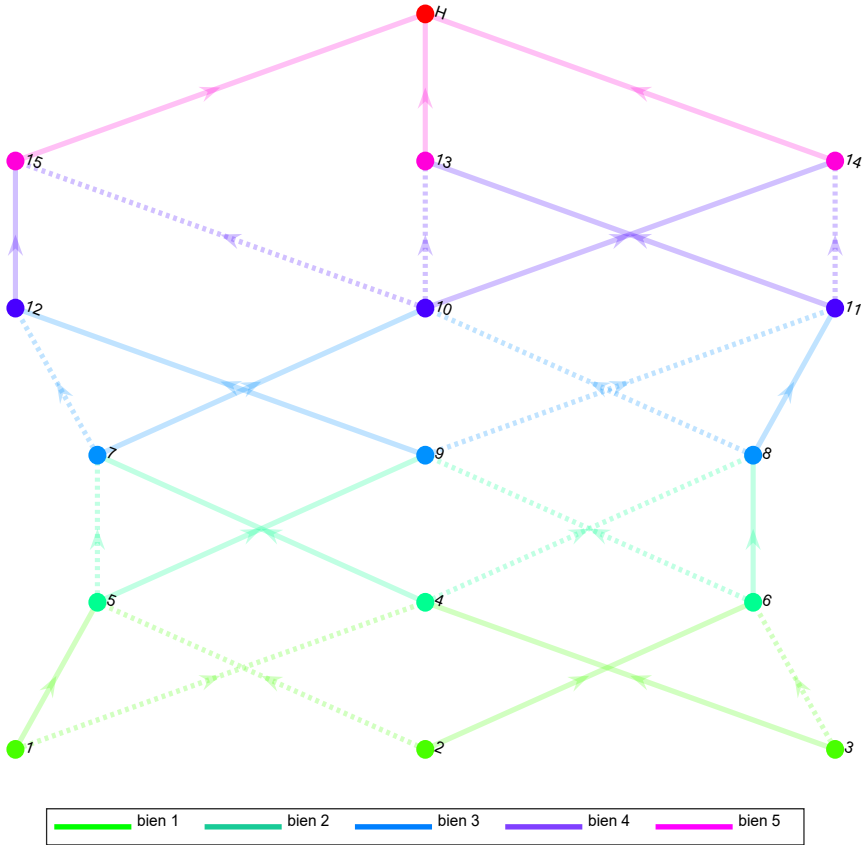
Todas las transacciones de la red se encuentran representadas mediante aristas direccionadas. Como se recordará en la explicación de la Figura 1, el color identifica el bien objeto de transacción, mientras que el tipo de línea distingue el tipo de proveedor: línea continua si es proveedor habitual o línea punteada si es proveedor rival. En total, esta red posee $|\Omega| = 2^{12} = 4{,}096$ posibles realizaciones.

Todas las empresas de la red tienen funciones de demanda condicionada y costo mínimo según una tecnología CES de retornos constantes de escala. Asimismo, el hogar representativo tiene funciones de demanda marshaliana de acuerdo a función de utilidad CES. Estas funciones se muestran en el Anexo A.

La probabilidad de contratar a los proveedores habituales se representa a través de un spline de 3er orden decreciente, que es igual a 1 cuando su precio de venta es menor al precio del proveedor rival, y 0 cuando su precio es mayor al precio del proveedor rival en 2 unidades monetarias. Por

complementariedad, el mismo spline se utiliza para representar la probabilidad de contratación de los proveedores rivales. Por otro lado, la probabilidad de permanencia de una empresa se asume depende de manera directamente proporcional del número de veces que obtuvo ganancias hasta 5 periodos atrás.

Figura 5. Red Productiva empleada para la simulación del modelo.



Nota: Esta figura muestra la red productiva con la que se simula el modelo. Cada nodo representa una empresa, cada arista representa una transacción de compra-venta, y cada color identifica un bien. Si las aristas se encuentran en línea continua, las transacciones se realizan con el proveedor habitual, por el contrario, si las aristas se encuentran en línea punteada, las transacciones se realizan con el proveedor rival. Para efectos de ilustración, se omite las transacciones del mercado laboral.

Fuente: Elaboración propia.

Para efectos del análisis, a continuación, se estudia el efecto que tiene un choque negativo de productividad del 20% sobre la empresa j_9. El choque sobre otras empresas no se analiza en el presente documento, sin embargo, produce resultados similares (Estas simulaciones están disponibles previa solicitud a los autores). La simulación de este choque en el modelo se realiza mediante 1000 ensayos aleatorios sobre un horizonte de tiempo de 30 periodos; cada periodo se encuentra determinado por el EGM correspondiente a las empresas que subsistieron hasta ese instante. La programación del modelo se realizó en MATLAB.

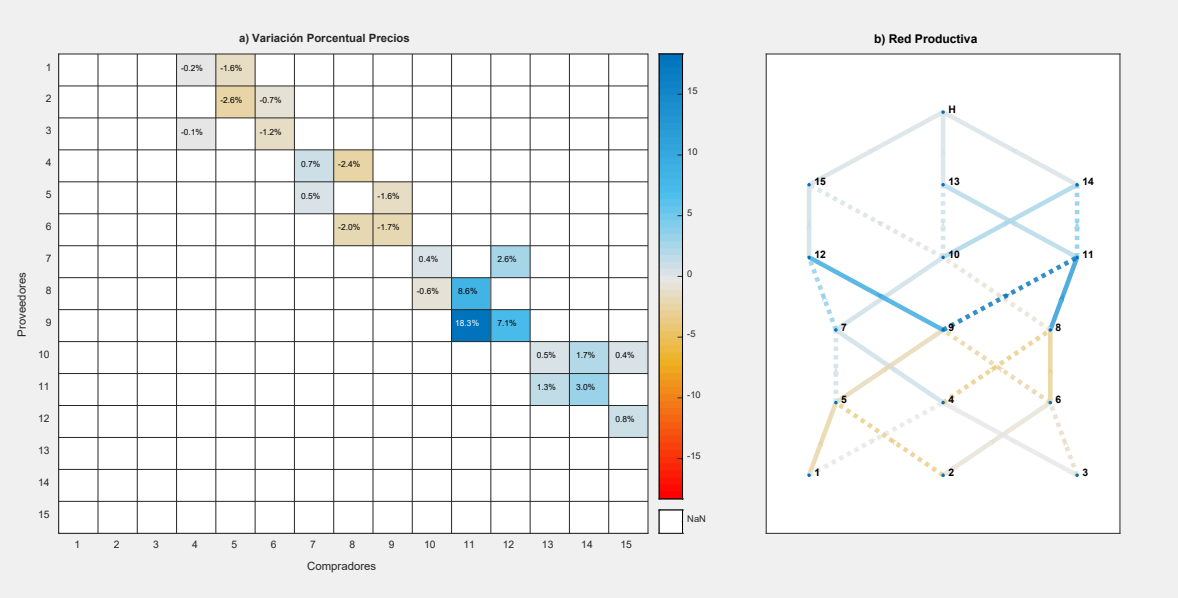
El algoritmo que es utiliza para la determinación númerica del EGM en estas simulaciones se muestra en el Anexo C.

3.1. Efectos sobre los precios del EGM en el periodo inicial

Como se observa en la Figura 6.a, un choque negativo de productividad sobre la empresa j_9 produce cambios no solo en sus precios de venta sino también en los precios de venta del resto de firmas en la

red en el periodo inicial. Cada celda de esta tabla muestra la variación porcentual del precio que fija un proveedor (fila) a su comprador potencial (columna) de acuerdo a una coloración rojo-azul. Esta coloración indica el signo y magnitud de la variación de los precios. Si la celda tiene color rojo, entonces los precios disminuyen; por el contrario, si la celda tiene color azul, los precios aumentan. La intensidad de cada color depende de la cuantía de la variación en valor absoluto. Esta misma coloración se aplica sobre las aristas de la red en la Figura 6.b.

Figura 6. Variación de los precios de bienes intermedios en el periodo inicial, cuando existe un choque de productividad del 20% sobre la empresa 9.



Nota. La tabla a) muestra la variación porcentual de los precios de venta que fijan los proveedores a sus compradores potenciales. Los proveedores se encuentran ubicados por filas y los compradores por columnas. La coloración rojo-azul indica el signo y magnitud de la variación del precio. Si el color es rojo, entonces disminuyen los precios. Cuanto más alta sea la intensidad de color rojo, más alta es la disminución del precio. Por el contrario, si el color es azul, entonces aumentan los precios. Cuanta más alta sea la intensidad de color azul, más alto es el aumento de los precios. La figura b) reproduce esta coloración sobre las aristas de la red productiva.

Fuente: Elaboración propia.

En primer lugar, se puede observar que el choque negativo de productividad sobre la empresa j_9 aumenta sus precios de venta en 18.3% y 7.1% para los compradores j_{11} y j_{12}, respectivamente. Este incremento se debe al aumento del costo marginal que experimenta la empresa después del choque y se presenta de manera más marcada en aquellas transacciones donde la empresa participa como proveedor rival (ya que en estos casos la posible pérdida de un comprador por incrementar el precio es menor). Este choque se difunde en la red y genera dos efectos prevalentes en los precios de venta del resto de empresas en la red: un efecto horizontal y un efecto cascada "aguas abajo".

El efecto horizontal constituye el aumento de precios para las empresas que pertenecen al mismo nivel de encadenamiento de la empresa que recibió el choque. Este efecto se puede distinguir por el color azul que toman las celdas de la fila 7, 8 y 9 en la Tabla 6.a y que se ubican en las columnas 11 y 12. También se puede visualizar en la red 6.b mediante el color azul que toman las aristas que parten de los nodos 7, 8 y 9, y terminan en los mismos nodos 11 y 12. Por ejemplo, se observa que la competencia entre las empresas j_8 y j_9 en torno al comprador j_{11}, trasmite el choque que recibe la empresa j_9 hacia la empresa j_8, aumentando su precio de venta en 8.6% para el comprador j_{11}. Por otro lado, el efecto cascada "aguas abajo" representa el aumento de precios que ocurre de comprador en

comprador en la red. Este efecto se puede visualizar mediante el color azul de las celdas de la Figura 6.a que se ubican por debajo de la fila 9. De igual forma, este efecto se puede visualizar mediante el color azul de las aristas de la red 6.b ubicadas por encima del nodo 9. Por ejemplo, se observa que el choque que recibe la empresa j_9 se trasmite a su comprador j_{11}, el cual incrementa sus precios en 1.3% y 3% para los compradores j_{13} y j_{14}, respectivamente.

La razón de ambos efectos es simple. Por un lado, el efecto horizontal se debe a la interacción que existe entre las firmas al momento de fijar los precios. Si una empresa incrementa sus precios de venta después de un choque, entonces sus compradores comenzarán a realizar transacciones con otros proveedores de la competencia. Estos proveedores, en vista de un aumento de la demanda, también incrementarán sus precios de venta, pero lo harán en una proporción menor que el de la empresa afectada por el choque, pues de lo contrario perderían los compradores ganados en un inicio. Por otro lado, el efecto cascada "aguas abajo" se debe a un factor de costos. Cuando una empresa recibe un choque negativo, su costo marginal aumenta, obligando a subir sus precios de venta. Este hecho, sumado al efecto horizontal, incrementa el costo de sus compradores, que aumentarán también sus precios de venta para ajustarse al alza de costos. Este efecto se trasmite de comprador en comprador en la red y disminuye a medida que los compradores se alejan de la empresa afectada.

3.2. Efectos sobre las ganancias del EGM en el periodo inicial

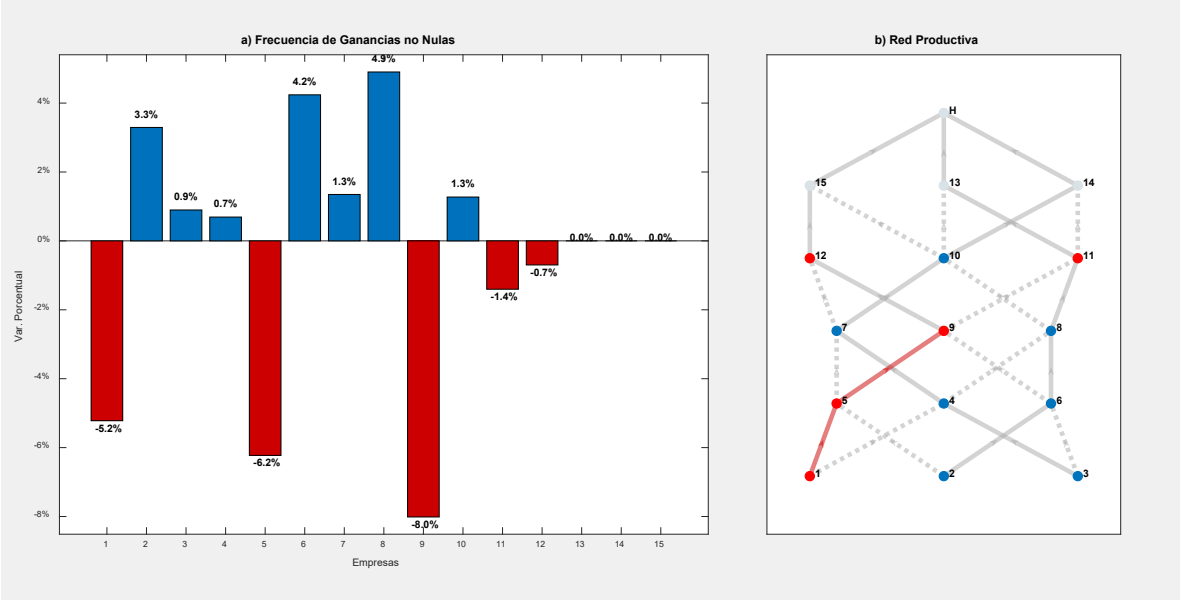
El aumento de precios de la empresa que recibió el choque trae implicaciones importantes en el análisis del EGM. Un incremento significativo de los precios resta competitividad a la empresa afectada dentro del conjunto de firmas que atiende a un mismo segmento de mercado, lo que disminuye su posibilidad de vender el producto y obtener ganancias. Este efecto se puede difundir en la red productiva a través de las transacciones de compra-venta y vulnerar la rentabilidad de otras empresas. Para analizar este fenómeno, se calcula la variación porcentual de la frecuencia con que las empresas obtienen ganancias no nulas en el periodo inicial. Esta frecuencia nos da una idea de la probabilidad que tiene una empresa para generar ganancias positivas y tener relaciones comerciales con sus compradores.

La variación de este indicador se muestra en la Figura 7.a mediante barras de color rojo y azul para aquellos valores que son negativos y positivos, respectivamente. La misma coloración se emplea para los nodos de la red en la Figura 7.b, y se señala mediante un camino aquellas empresas que presentan las variaciones negativas más altas. Teniendo en cuenta ambas figuras, se puede observar que el choque sobre la empresa j_9 genera un efecto cascada "aguas arriba" sobre las ganancias de las empresas, que se propaga solo hacia los proveedores habituales de la red.

Como se puede apreciar, el choque sobre la empresa j_9 disminuye su posibilidad de obtener ganancias positivas en 8.0%. Pero no solo eso, también disminuye esta posibilidad para su proveedor habitual j_5 en 6.2%, y para el proveedor habitual de este último j_1 en 5.2%. Estos efectos están acompañados por efectos positivos en otras empresas que tienden a reemplazar los proveedores afectados en el mismo nivel de encadenamiento. Por ejemplo, tras el choque en la empresa j_9, las empresas de la competencia j_7 y j_8 aumentan sus posibilidades de obtener ganancias positivas en 1.3% y 4.9%, respectivamente.

El motivo por el que el efecto cascada "aguas arriba" se propaga exclusivamente sobre los proveedores habituales se debe a la alta frecuencia con que estos proveedores participan en las transacciones de la red. Los proveedores habituales obtienen ganancias en la mayor parte de las ocasiones cuando sus compradores deciden contratarlos, por lo que si los compradores no obtienen ganancias (porque sus precios de venta son menos competitivos) ellos tampoco. En otras palabras, si un proveedor vende regularmente su producto a algún comprador en la red, todo lo que le sucede a este comprador repercute en las ganancias del proveedor (y consecuentemente en las ganancias de aquellos proveedores que regularmente abastezcan a este último). Es necesario resaltar que esta difusión hace más competitivos a los proveedores rivales, los cuales en cambio aumentan sus posibilidades de realizar transacciones en la red y por ende obtener ganancias.

Figura 7. Variación de la frecuencia de ganancias no nulas en el periodo inicial, cuando existe un choque de productividad del 20% sobre la empresa 9.



Nota. La Figura a) es un diagrama de barras que muestra la variación porcentual de la frecuencia con que las empresas obtienen ganancias no nulas. Esta frecuencia se construye teniendo en cuenta la función distribución empírica del EGM antes y después del choque de productividad. La coloración rojo-azul indica el signo de la variación. Si el color es rojo, entonces disminuye la frecuencia. Por el contrario, si el color es azul, entonces aumenta la frecuencia. La Figura b) reproduce esta coloración sobre los nodos de la red productiva y traza el camino con aquellos nodos que presentan la variación negativa más alta.

Fuente: Elaboración propia.

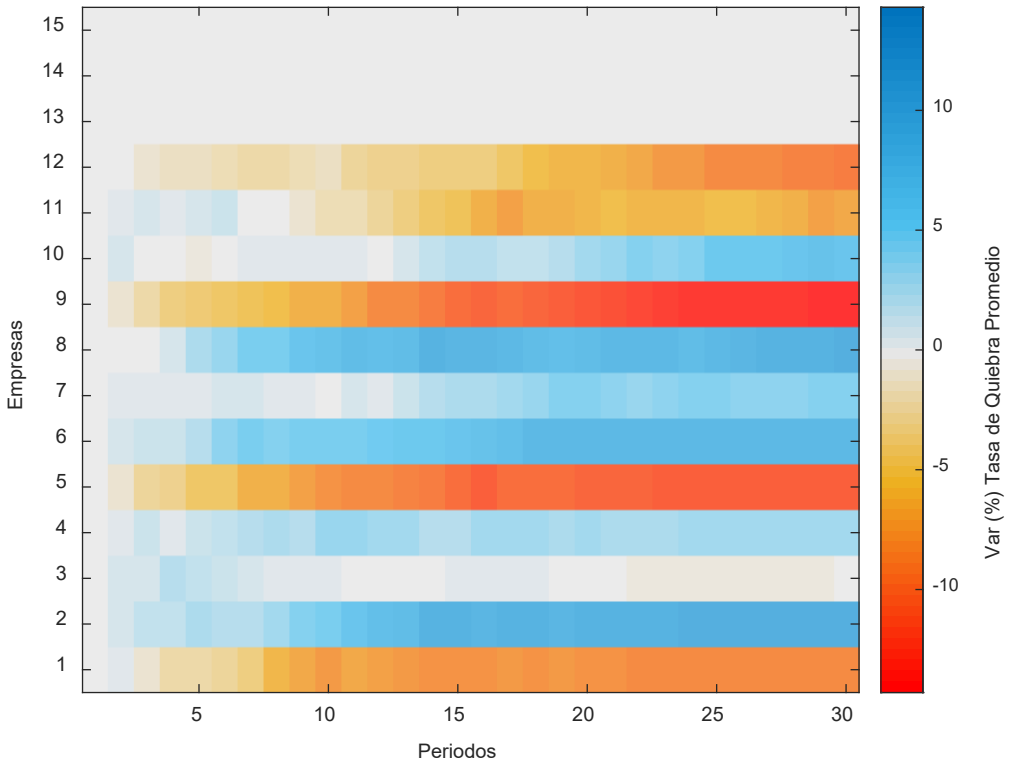
3.3. Efectos sobre la quiebra de empresas

La difusión del choque de productividad "aguas arriba" sobre las ganancias de las empresas en el periodo inicial es un elemento clave para entender cómo éstas quiebran en el transcurso del tiempo. Como se recordará en el diseño del modelo, una empresa tiene una mayor probabilidad de quiebra cuanto mayor sea el número de periodos que posea ganancias nulas. En este sentido, si se conoce cómo un choque incide en la forma de obtener ganancias, entonces se podrá explicar el efecto del mismo sobre la quiebra de las empresas.

La Figura 8 muestra la variación porcentual de la tasa de quiebra promedio de las empresas sobre un conjunto de 1000 ensayos aleatorios en un horizonte de tiempo de 30 periodos. Cada fila corresponde a una empresa y cada columna corresponde a un periodo de tiempo. La coloración rojo-azul indica el signo y magnitud de la variación. Si el color es rojo, entonces aumenta la tasa de quiebra. Cuanto más alta sea la intensidad de color rojo, más alto es el aumento de la tasa de quiebra. Por el contrario, si el color es azul, entonces disminuye la tasa de quiebra. Cuanto más alta sea la intensidad de color azul, más alta es la disminución de la tasa de quiebra.

Para analizar este efecto, se elabora la Figura 8. Esta figura muestra la variación de la tasa de quiebra promedio de las empresas en la red productiva mediante un mapa de calor con una coloración rojo-azul invertida. El color rojo indica que la variación es positiva (es decir, aumentan las posibilidades de que la empresa quiebre) mientras que el color azul indica que la variación es negativa (es decir, aumentan las posibilidades de que la empresa permanezca en la red). Cuanto más alta sea la intensidad de cada color, mayor es la variación de la tasa de quiebra (en valor absoluto) de una empresa en un periodo determinado.

Figura 8. Variación de la tasa de quiebra promedio por empresa para 30 periodos, cuando existe un choque de productividad del 20% sobre la empresa 9.



Fuente: Elaboración propia.

A grandes rasgos se observa que el choque de productividad en la empresa j_9 acentúa la quiebra de los proveedores habituales que se encuentran "aguas arriba". En primer lugar, este choque causa que la empresa j_9 aumente sus posibilidades de quebrar desde el periodo 3, hasta incrementar su tasa de quiebra en 14% al finalizar los 30 periodos de tiempo. Este efecto se propaga de proveedor en proveedor, con una fuerza menor. Por ejemplo, se observa que las empresas j_5 y j_1 aumentan también sus posibilidades de quebrar desde el periodo 3 y 5, pero con un incremento de su tasa de quiebra del 10% y 8% al terminar los 30 periodos, respectivamente. Se puede observar también un efecto negativo sobre las empresas j_{11} y j_{12}, compradores de la empresa j_9, aunque más tenue.

Cabe resaltar en esta figura que existen empresas que, por el contrario, aumentan sus posibilidades de permanecer en la industria debido a su condición de proveedores rivales. Este es el caso de las empresas j_2, j_4, j_6, j_7, j_8, que aumentan su permanencia en la red a fin de reemplazar aquellos proveedores habituales que fueron desplazados por el choque.

Como se había manifestado, el efecto cascada "aguas arriba" sobre las ganancias en el periodo inicial ayuda a entender cómo se origina el efecto cascada "aguas arriba" sobre la quiebra de los proveedores habituales. Un choque de productividad sobre una empresa aumenta sus precios de venta, lo que disminuye su posibilidad de realizar transacciones en la red y obtener ganancias positivas en el periodo inicial. Este efecto se propaga de proveedor en proveedor de tal manera que los proveedores habituales también reducen su posibilidad de obtener ganancias. En este sentido, toda la cadena de empresas, desde la empresa que recibió el choque hasta el último de los proveedores habituales afectados, será más propensa de quebrar en un próximo periodo.

Si en el siguiente periodo alguna de estas empresas quiebra, la actividad de los proveedores habituales de la empresa que quebró se contraerá de manera sustancial (pues gran parte de sus ventas

se pierden por no tener comprador), limitando aún más su posibilidad de obtener ganancias y de permanecer en la red. Lo mismo sucederá para el resto de proveedores habituales que se encuentran "aguas arriba", debido al efecto cascada en las ganancias que se reproduce para dicho instante de tiempo. Este proceso ocurre sucesivamente periodo a periodo a medida que las empresas salen de la industria, condicionando cada vez más las ganancias de las empresas que permanecen en la red productiva.

4. Conclusiones

La difusión de choques microeconómicos en redes productivas representa uno de los campos de investigación de mayor desarrollo dentro del análisis de redes económicas en la última década. Su objetivo se enmarca principalmente en el hallazgo de efectos cascada, es decir, la propagación de choques de productividad hacia la cadena de compradores o proveedores de la red mediante las relaciones intersectoriales insumo-producto.

En esta línea se han desarrollo diversos trabajos teóricos que se enfocan en la teoría de equilibrio general, con un uso importante de supuestos como: mercados de competencia perfecta, firmas representativas, redes exógenas, empresas permanentes sin posibilidad de quiebra, y tecnologías/preferencias tipo Cobb-Douglas. Estos supuestos incorporan restricciones fuertes en el comportamiento de la red productiva y reducen la complejidad del sistema económico que se pretende estudiar. Como tal, pueden atenuar la propagación de los choques microeconómicos o limitarla a ciertas empresas en la red.

El presente documento realiza una singular contribución en este marco teórico. Analiza la difusión de choques microeconómicos en redes productivas con competencia imperfecta y con posibilidad de quiebra de empresas. Este análisis se realiza mediante la introducción de un nuevo concepto: el Equilibrio General de Mercado, que posee las propiedades de un equilibrio de Nash para aquellas empresas tomadoras de precios que participan en el mercado de bienes intermedios, y las propiedades de un equilibrio oferta-utilización para el mercado de bienes de consumo final y el mercado laboral. Así también, este análisis considera el planteamiento de un enfoque de elección distinto: la elección probabilística, que asume que los compradores asignan una probabilidad a la contratación de cada uno de sus proveedores, a consecuencia del trade-off entre beneficio y riesgo que enfrentan por la falta de información.

Bajo estas consideraciones, un choque negativo de productividad en una empresa puede generar varios resultados. Primero, existen dos efectos sobre los precios de venta en el periodo inicial: un efecto horizontal y un efecto cascada "aguas abajo". El primer efecto incrementa los precios de venta para las empresas que pertenecen a la competencia de la empresa afectada, mientras que el segundo incrementa los precios de venta de comprador en comprador en la red. Segundo, existe un efecto cascada "aguas arriba" sobre las ganancias de las empresas en el periodo inicial. Tercero, existe un efecto cascada "aguas arriba" en la quiebra de las empresas durante el transcurso del tiempo.

Si bien estos resultados se respaldan en simulaciones numéricas sobre una red simple (específicamente, una red estructurada uniformemente por niveles de encadenamiento), constituyen una muestra importante de los diferentes efectos indirectos que produce un choque microeconómico cuando se relajan ciertos supuestos fundamentales del equilibrio competitivo y el análisis de redes. En este sentido, puede ser relevante explorar otros problemas que van de la mano con la fijación de precios y la quiebra de empresas, como es la segmentación regional del mercado, la centralidad de las empresas y la inversión de capital.

Finalmente, el modelo económico realizado en este estudio, es una muestra de la utilidad que tienen las herramientas matemáticas para la modelización de sistemas altamente complejos y circulares;

en nuestro caso, una red productiva con empresas altamente interdependientes mediante decisiones de precios bajo incertidumbre y con posibilidad de quiebra. Estas herramientas se pueden reconfigurar, con algo de trabajo, para incorporar rasgos más realistas de un aparato productivo, como propiedades markovianas en las que las decisiones de las empresas no dependen de todas las empresas inmersas en la red, sino de aquellas que se encuentran en una red egocéntrica (i.e. aquellos compradores y vendedores que se encuentran a pocas transacciones de la empresa). De hecho, esta característica podría hacer que la determinación del EGM sea más simple, dado el confinamiento del equilibrio de Nash para dicho subconjunto de empresas.

Referencias

Acemoglu, D., Carvalho, Vasco, M., Ozdaglar, A., & Tahbaz-Salehi., A. (2012). The Network Origins of Aggregate Fluctuations. *Econometrica*, *80*(5), 1977-2016. https://doi.org/10.3982/ECTA9623

Acemoglu, D., Ozdaglar, A., & Tahbaz-Salehi, A. (2016). Networks, Shocks, and Systemic Risk. *The Oxford Handbook of the Economics of Networks*, *January*, 569-607. https://doi.org/10.3386/w20931

Acemoglu, D., Ozdaglar, A., & Tahbaz-Salehi, A. (2017). Microeconomic Origins of Macroeconomic Tail Risks. *American Economic Review*, *107*(1), 54-108. https://doi.org/10.1257/aer.20151086

Atalay, E. (2017). How Important Are Sectoral Shocks? *American Economic Journal: Macroeconomics*, *9*(4), 254-280. https://doi.org/10.1257/mac.20160353

Baqaee, D.R. (2018). Cascading Failures in Production Networks. *Econometrica*, *86*(5), 1819-1838. https://doi.org/10.3982/ECTA15280

Carvalho, V.M. (2010). Aggregate Fluctuations and the Network Structure of Intersectoral Trade. In *Economics Working Papers 1206*. http://www.econ.ucdavis.edu/seminars/papers/337/3371.pdf

Carvalho, V. M., & Gabaix, X. (2013). The Great Diversification and its Undoing. *American Economic Review*, *103*(5), 1697-1727. https://doi.org/10.1257/aer.103.5.1697

Grassi, B. (2017). IO in I-O: Size, Industrial Organization, and the Input-Output Network Make a Firm Structurally Important. *Working Paper*.

Stella, A. (2015). Firm dynamics and the origins of aggregate fluctuations. *Journal of Economic Dynamics and Control*, *55*(1133), 71-88. https://doi.org/10.1016/j.jedc.2015.03.009

Anexos

A. Funciones de demanda con tecnología/preferencias CES

A.1 Funciones de demanda condicionada y costo mínimo de las empresas

Todas las empresas en la red productiva son tomadoras de precios en la adquisición de insumos. Su objetivo es minimizar su costo total, sujeto a una restricción tecnológica tipo CES con retornos constantes de escala y capital fijo.

Formalmente, cada empresa $j \in J$ enfrenta el siguiente problema de decisión:

$$\min_{z_{ji}, l_j} c_j = \sum_{i \in I^{\mathrm{m}}} p_i \, z_{ji} + w l_j$$

$$y_j = A_j \left(\sum_{I^{\mathrm{m}}} \alpha_{ji} z_{ji}^{\rho_j} + \alpha_{jl} l_j^{\rho_j} \right)^{\frac{\vartheta_j}{\rho_j}}$$

donde $y_j \in \mathbb{R}_+$ es la producción de la empresa j; $z_j = \left(z_{j1}, \dots, z_{jM^{\mathrm{m}}}\right) \in \mathbb{R}_+^{M^{\mathrm{m}}}$ es el vector de demanda de insumos; $p = (p_1, \dots, p_{M^{\mathrm{m}}}) \in \mathbb{R}_+^{M^{\mathrm{m}}}$ es el vector de precios de los insumos, $l_j \in \mathbb{R}_+$ es la demanda de mano de obra y w es el salario; A_j es un constante de productividad; $\alpha_{ji}, \alpha_{jl}, \alpha_{jk} > 0$ son coeficientes de participación de la demanda de factores, y $\rho \leq 1$ es un coeficiente relacionado con la elasticidad de sustitución entre factores.

La solución de este problema utilizando la técnica de multiplicadores de Lagrange nos conduce a las siguientes funciones de demanda condicionada:

$$z_{ji}(y_j, p, w) = \left(\frac{y_j}{A_j}\right)^{\frac{1}{\vartheta_j}} \frac{\left(\frac{\alpha_{ji}}{p_i}\right)^{\frac{1}{1-\rho_j}}}{\left(\sum_{i' \epsilon I^{\mathrm{m}}} p_{i'} \left(\frac{\alpha_{ji'}}{p_{i'}}\right)^{\frac{1}{1-\rho_j}} + w \left(\frac{\alpha_{jl}}{w}\right)^{\frac{1}{1-\rho_j}} \right)^{1/\rho_j}}, \qquad \forall i \epsilon I^{\mathrm{m}}$$

$$l_j(y_j, p, w) = \left(\frac{y_j}{A_j}\right)^{\frac{1}{\vartheta_j}} \frac{\left(\frac{\alpha_{jl}}{w}\right)^{\frac{1}{1-\rho_j}}}{\left(\sum_{i' \epsilon I^{\mathrm{m}}} p_{i'} \left(\frac{\alpha_{ji'}}{p_{i'}}\right)^{\frac{1}{1-\rho_j}} + w \left(\frac{\alpha_{jl}}{w}\right)^{\frac{1}{1-\rho_j}} \right)^{\frac{1}{\rho_j}}}$$

Por otro lado, la función de costo mínimo es:

$$c_j(y_j, p, w) = \left(\frac{y_j}{A_j}\right)^{\frac{1}{\vartheta_j}} \left(\sum_{i' \epsilon I^{\mathrm{m}}} p_{i'} \left(\frac{\alpha_{ji'}}{p_{i'}}\right)^{\frac{1}{1-\rho_j}} + w \left(\frac{\alpha_{jl}}{w}\right)^{\frac{1}{1-\rho_j}} \right)^{(\rho_j - 1)/\rho_j}$$

A.2. Funciones de demanda marshaliana y de oferta de trabajo del hogar representativo

Sea la utilidad tipo CES con preferencia al ocio:

$$U\big(x(\omega), l_h(\omega)\big) = \left(\sum_{i \epsilon I^{\mathrm{g}}} \gamma_i x_i^{\eta}(\omega) + \gamma_l\big(\bar{L} - l_h(\omega)\big)^{\eta}\right)^{\frac{1}{\eta}}$$

donde $x(\omega)$ es el vector de demanda de insumos; $l_h(\omega)$ es la oferta de trabajo para cada realización de la red productiva $\omega \in \Omega$; $\bar{L}$ es la dotación total de mano de obra; $\gamma_i, \gamma_l > 0$ son coeficientes de participación de consumo y ocio, respectivamente; y $\eta \leq 1$ es un parámetro relacionado con la elasticidad de sustitución entre la demanda de bienes y oferta laboral.

Por lo tanto, la solución del problema (7) mediante la técnica de multiplicadores de Lagrange arroja las siguientes funciones de demanda marshaliana:

$$x_i\big(\omega, p^{\mathrm{g}}(\omega), w(\omega), \pi(\omega)\big) =$$

$$\left(\frac{\gamma_i}{p_i^{\mathrm{g}}(\omega)}\right)^{\frac{1}{1-\eta}} \frac{\pi(\omega) + w(\omega)\bar{L}}{\sum_{i' \epsilon I^{\mathrm{g}}} p_{i'}^{\mathrm{g}}(\omega)\left(\frac{\gamma_{i'}}{p_{i'}^{\mathrm{g}}(\omega)}\right)^{\frac{1}{1-\eta}} + w(\omega)\left(\frac{\gamma_l}{w(\omega)}\right)^{\frac{1}{1-\eta}}}, \qquad \forall i \epsilon I^{\mathrm{g}} \ \forall \omega \in \Omega$$

Por otro lado, la oferta laboral óptima se encuentra definida por:

$$l_h\big(\omega, p^{\mathrm{g}}(\omega), w(\omega), \pi(\omega)\big) =$$

$$\bar{L} - \left(\frac{\gamma_l}{w(\omega)}\right)^{\frac{1}{1-\eta}} \frac{\pi(\omega) + w(\omega)\bar{L}}{\sum_{i' \epsilon I^{\mathrm{g}}} p_{i'}^{\mathrm{g}}(\omega)\left(\frac{\gamma_{i'}}{p_{i'}^{\mathrm{g}}(\omega)}\right)^{\frac{1}{1-\eta}} + w(\omega)\left(\frac{\gamma_l}{w(\omega)}\right)^{\frac{1}{1-\eta}}}, \qquad \forall \omega \in \Omega$$

B. Demostración de la existencia del Equilibrio General de Mercado

La existencia del Equilibrio General de Mercado se demuestra en 5 pasos. Primero, se demuestra que las condiciones de equilibrio ex-post (6), (7), (8) tienen una solución para cada escenario $\omega \in \Omega$, teniendo como fijo los precios p^{m}. Segundo, se halla un conjunto compacto y convexo para los precios p^{m}. Tercero, se demuestra que el beneficio de las empresas que producen bienes intermedios $E\big[\pi_j / p_j^{\mathrm{m}}, p_{-j}^{\mathrm{m}}\big]$ es una función continua. Cuarto, se demuestra que esta función es cóncava. Por último, en base al resultado de los pasos anteriores, se demuestra que existe una matriz de precios $p^{\mathrm{m}*}$ que resuelve el equilibrio de Nash planteado por los problemas (3).

Para simplificar la demostración, se asume que la utilidad del hogar representativo h tiene una especificación Cobb-Douglas sin preferencia al ocio (e.d. existe una dotación fija de mano de obra). Adicionalmente, se asume que las empresas tienen una tecnología Marx-Leontief en la demanda de insumos. Para las empresas $j \in J^{\mathrm{m}}$, el trabajo se demanda en proporciones fijas, mientras que para las empresas $j \in J^{g}$ el trabajo se demanda con una productividad marginal decreciente. Se asume también que la producción de cada bien de consumo final $i \in I^{\mathrm{g}}$ se realiza a través de una firma representativa. Finalmente, la función que mide el trade-off entre ganancia y riesgo en el problema de elección probabilística de los compradores se asume tiene una especificación lineal.

B.1. Existe un conjunto de precios y cantidades que resuelve las condiciones de equilibrio ex-post.

Sea $\omega \in \Omega$ una realización de la red productiva. Sea $p^{\mathfrak{m}} \in \mathbb{R}_+^N \times \mathbb{R}_+^{N^{\mathfrak{m}}}$ los precios de los bienes intermedios que se transan en la red productiva. Estas variables se considerarán fijas en esta primera parte.

Debido a que las empresas poseen una tecnología Marx-Leontief, la demanda de cada insumo representa una proporción fija de su producción. En términos formales:

$$\forall j \in J, \forall i \in b(j), \;\; z_{ji}(\omega) = \alpha_{ji} y_j(\omega)$$

donde z_{ji} es la demanda del insumo i en la empresa j, α_{ji} es el coeficiente técnico del insumo i en la empresa j, y y_j es la producción total de la empresa j en el escenario ω. Por otro lado, como se cumple el equilibrio local ex-post en el mercado de bienes intermedios, se tiene que:

$$\forall j \in J^{\mathfrak{m}}, \qquad y_j(\omega) = \sum_{k \in \Delta_j^+(\omega)} z_{k,a(j)}(\omega)$$

En consecuencia, la producción de una empresa de bienes intermedios se puede representar como una combinación lineal de la producción de sus compradores.

$$\forall j \in J^{\mathfrak{m}}, \qquad y_j(\omega) = \sum_{k \in \Delta_j^+(\omega)} \alpha_{k,a(j)} y_k(\omega)$$

Si se aplica esta propiedad de comprador en comprador hasta llegar a las empresas que producen bienes de consumo final, entonces se puede concluir que la producción de cualquier empresa se puede representar como una combinación lineal de la oferta de estos bienes. Es decir:

$$\forall j \in J^{\mathfrak{m}}, \; y_j(\omega) = \textstyle\sum_{i \in I^{\mathfrak{g}}} \theta_i(\omega) \hat{y}_i(\omega) \qquad [1]$$

donde $\theta_i(\omega)$ es una constante que depende de la realización ω, y $\hat{y}_i(\omega)$ es la producción de la firma representativa i. Esta ecuación plantea una característica importante en la solución del sistema $H(x(\omega), y(\omega), p^{\mathfrak{g}}(\omega), w(\omega), p^{\mathfrak{m}})$. Si la producción de las empresas de bienes de consumo final se encuentra determinada, entonces también lo estará la producción de cualquier empresa en la red. En este sentido, basta demostrar el equilibrio en el mercado de bienes finales y el mercado de trabajo para resolver el sistema.

Primero estudiemos el mercado de bienes finales. En el lado de la oferta, la firma representativa $i \in I^{\mathfrak{g}}$ realiza su actividad en mercados perfectamente competitivos. En este sentido, decide cuanto producir a fin de maximizar sus ganancias dado los precios de mercado. Este problema se muestra a continuación una vez incluidas las consideraciones tecnológicas en los costos de la firma:

$$\max_{y_i^{\mathfrak{g}}(\omega)} \; p_i^{\mathfrak{g}}(\omega) \hat{y}_i(\omega) - \sum_{k \in b(i)} \alpha_{ik} \hat{y}_i(\omega) p_{ki}^{\mathfrak{m}} - w l_i\big(\hat{y}_i(\omega)\big)$$

donde $p_i^{\mathfrak{g}}(\omega)$ es el precio del bien de consumo final i, α_{ik} es el coeficiente técnico del insumo k en la empresa i, $p_{ki}^{\mathfrak{m}}$ es el precio del insumo k que demanda la empresa i, w es el salario y $l_i\big(\hat{y}_i(\omega)\big)$ es una función de demanda de trabajo tal que:

$$\forall i \in I^{\mathfrak{g}}, \qquad l_i\big(\hat{y}_i(\omega)\big) = \hat{y}_i(\omega)^{\vartheta_i}$$

donde ϑ_i es un coeficiente de retorno de la mano de obra. Se asume $\vartheta_i > 1$ para considerar una productividad marginal decreciente. La solución de este problema da como resultado:

$$\hat{y}_i(\omega) = \left(\frac{p_i^{\mathfrak{g}}(\omega) - \sum_k \alpha_{ik} p_{ki}^{\mathfrak{m}}}{w\vartheta_i}\right)^{\frac{1}{\vartheta_i - 1}} \quad [2]$$

Cabe subrayar que esta función existe siempre que $p_i^{\mathfrak{g}}(\omega) > \sum_k \alpha_{ik} p_{ki}^{\mathfrak{m}}$. Esta restricción se conoce como condición de actividad y plantea que la empresa produce siempre que el precio de su producto sea mayor al costo de las materias primas por unidad producida.

En el lado de la demanda, el hogar representativo maximiza su utilidad con ingresos provenientes exclusivamente del beneficio de las empresas. En términos formales:

$$\max_{x_i(\omega)} \prod_{i \in I^{\mathfrak{g}}} x_i(\omega)^{\gamma_i}$$

$$\sum_{i \in I^{\mathfrak{g}}} p_i^{\mathfrak{g}}(\omega) x_i(\omega) = \pi(\omega)$$

donde $x_i(\omega)$ es el consumo de bien i, γ_i es el coeficiente de consumo del bien i ($\sum_{i \in I^{\mathfrak{g}}} \gamma_i = 1, \gamma_i > 0$), y $\pi(\omega)$ es el total de ganancias de las empresas en la realización $\omega \in \Omega$. La solución de este problema arroja:

$$\forall i \in I^{\mathfrak{g}},\ x_i(\omega) = \gamma_i \frac{\pi(\omega)}{p_i^{\mathfrak{g}}(\omega)} \quad [3]$$

Las funciones de oferta [2] y demanda [3] nos conducen a las siguientes condiciones de equilibrio en el mercado de bienes de consumo final:

$$\forall i \in I^{\mathfrak{g}}, \qquad p_i^{\mathfrak{g}}(\omega) \left(\frac{p_i^{\mathfrak{g}}(\omega) - \sum_k \alpha_{ik} p_{ki}^{\mathfrak{m}}}{\vartheta_i}\right)^{\frac{1}{\vartheta_i - 1}} = \gamma_i \pi(\omega) w^{\frac{1}{\vartheta_i - 1}}$$

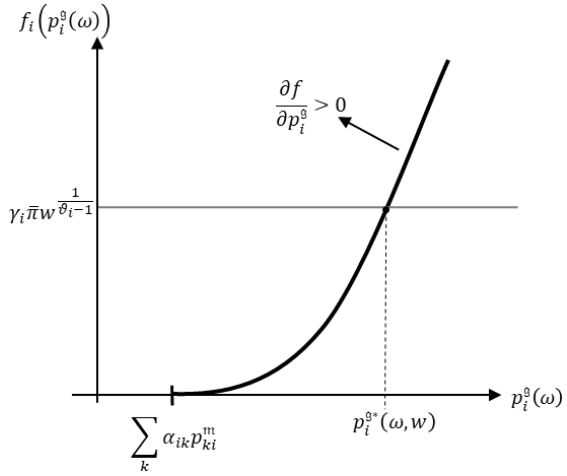
Denotemos el lado izquierdo de estas ecuaciones por $f_i\left(p_i^{\mathfrak{g}}(\omega)\right)$. Como $\vartheta_i > 1$ y $p_i^{\mathfrak{g}}(\omega) > \sum_k \alpha_{ik} p_{ki}^{\mathfrak{m}}$, se tiene $\frac{\partial f_i}{\partial p_i^{\mathfrak{g}}} > 0$.

Debido al cumplimiento de la Ley de Walras en el mercado de bienes de consumo final, una de estas ecuaciones es irrelevante, por lo que es necesario escoger un numerario para resolver el sistema. Si se toma como numerario la renta del hogar (e.d $\pi(\omega) = \bar{\pi}$), entonces existe un precio $p_i^{\mathfrak{g}*}(\omega, w)$ que resuelve:

$$f_i\left(p_i^{\mathfrak{g}*}(\omega, w)\right) = \gamma_i \bar{\pi} w^{\frac{1}{\vartheta_i - 1}} \quad [4]$$

Este hecho se puede observar en la siguiente figura.

Figura 9. Determinación del precio $p_i^{\mathfrak{g}^*}(\omega, w)$.



Fuente: Elaboración propia.

Como se observa $\lim_{w \to 0} p_i^{\mathfrak{g}^*}(\omega, w) = \sum_k \alpha_{ik} p_{ki}^{\mathfrak{m}}$ y $\lim_{w \to \infty} p_i^{\mathfrak{g}^*}(\omega, w) = \infty$. Además, por derivación implícita de [4] se tiene:

$$\frac{dp_i^{\mathfrak{g}}}{dw} = \frac{\vartheta_i (\gamma_i \bar{\pi})^{(\vartheta_i - 1)}}{(\vartheta_i - 1) p_i^{\mathfrak{g}}(\omega)^{(\vartheta_i - 2)} \left(p_i^{\mathfrak{g}}(\omega) - \sum_k \alpha_{ik} p_{ki}^{\mathfrak{m}}\right) + p_i^{\mathfrak{g}}(\omega)^{(\vartheta_i - 1)}}$$

La ecuación [4] plantea un resultado interesante. Si se conoce el salario, entonces se conocerán también los precios de los bienes finales que vacían el mercado. Para hallar este salario, analicemos el mercado laboral. Aquí, el equilibrio se encuentra determinado por:

$$\bar{L} = \sum_{j \in J} l_j \left(y_j(\omega)\right) = \sum_{j \in J} l_j \left(\sum_{i \in I^{\mathfrak{g}}} \theta_i(\omega) \hat{y}_i(\omega)\right)$$

donde $\bar{L}$ es la dotación fija de mano de obra. Debido a las ecuaciones [1] y [2] este equilibrio se puede expresar como:

$$\bar{L} = \sum_{j \in J} l_j \left(\sum_{i \in I^{\mathfrak{g}}} \theta_i(\omega) \left(\frac{p_i^{\mathfrak{g}}(\omega) - \sum_k \alpha_{ik} p_{ki}^{\mathfrak{m}}}{w \vartheta_i}\right)^{\frac{1}{\vartheta_i - 1}}\right) \quad [5]$$

Asumamos que este equilibrio se cumple para los precios $p_i^{\mathfrak{g}^*}(\omega, w)$ que resuelven[4]. En este sentido, la demanda total de mano de obra (lado derecho de la ecuación [5]) se puede representar como una función $g\left(p_i^{\mathfrak{g}^*}(\omega, w), w\right)$. Estudiemos las propiedades de esta función de extremo a extremo.

En primer lugar, si el salario tiende a cero, por L'Hopital y la derivada $\frac{dp_i^{\mathfrak{g}}}{dw}$, se tiene que:

$$\lim_{w \to 0} \left(\frac{p_i^{\mathfrak{g}^*}(\omega, w) - \sum_k \alpha_{ik} p_{ki}^{\mathfrak{m}}}{w \vartheta_i}\right)^{\frac{1}{\vartheta_i - 1}} = \frac{\gamma_i \bar{\pi}}{\sum_k \alpha_{ik} p_{ki}^{\mathfrak{m}}}$$

con lo cual:

$$\lim_{w\to 0} g\left(p_i^{\mathfrak{g}*}(\omega,w),w\right)=\sum_{j\in J} l_j\left(\frac{\gamma_i\bar{\pi}}{\sum_k \alpha_{ik}p_{ki}^{\mathfrak{m}}}\right)>0$$

En segundo lugar, si el salario tiende al infinito, aplicando de la misma manera L'Hopital la derivada $\frac{dp_i^{\mathfrak{g}}}{dw}$, se tiene que:

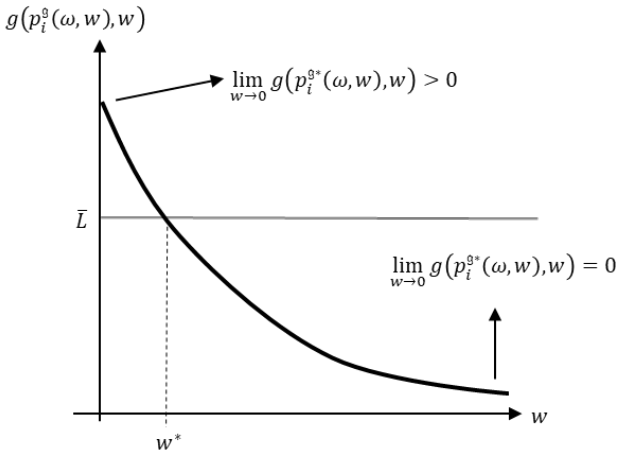
$$\lim_{w\to 0}\left(\frac{p_i^{\mathfrak{g}*}(\omega,w)-\sum_k \alpha_{ik}p_{ki}^{\mathfrak{m}}}{w\vartheta_i}\right)^{\frac{1}{\vartheta_i-1}}=0$$

con lo cual:

$$\lim_{w\to 0} g\left(p_i^{\mathfrak{g}*}(\omega,w),w\right)=0$$

Dadas estas propiedades, se puede asegurar que existe un salario w^* que limpie el mercado laboral. Este hecho se puede observar en la siguiente figura.

Figura 10. Determinación del salario w^*.



Fuente: Elaboración propia.

En resumen, el salario de equilibrio en [5] permite determinar los precios de los bienes de consumo final mediante [4]. Ambas variables permiten determinar la producción de bienes finales por [2], el consumo final por [3] y consecuentemente la producción del resto de empresas en la red productiva a través de [1].

Dado este resultado, se tiene que los flujos $x(\omega), y(\omega)$ y los precios $p^{\mathfrak{g}}(\omega), w(\omega)$ se encuentran determinados por las condiciones de equilibrio ex-post para cualquiera realización $\omega \in \Omega$, por lo que el valor esperado $E\left[\pi_j/p_j^{\mathfrak{m}}, p_{-j}^{\mathfrak{m}}\right]$ para cualquier empresa $j \in J^{\mathfrak{m}}$ se encuentra bien definido.

B.2. $p^{\mathfrak{m}}$ pertenece a un conjunto convexo y compacto

En principio, se conoce que los precios de los bienes intermedios $p^{\mathfrak{m}} \in \mathbb{R}_+^N \times \mathbb{R}_+^{N^{\mathfrak{m}}}$. Este conjunto por definición es cerrado y convexo, sin embargo, no es acotado; condición necesaria para la compacidad del conjunto.

En este sentido, se debe determinar si existe un valor que limite superiormente los precios del modelo. Como se había manifestado en la sección anterior, la Ley de Walras exige tomar un numerario para resolver el sistema de ecuaciones de equilibrio. Si se toma como numerario un índice de precios de la forma $I = \sum_k \gamma_i p_i^{\mathfrak{g}}(\omega)$, entonces:

$$\forall i \in I^{\mathfrak{g}}, \qquad p_i^{\mathfrak{g}}(\omega) \leq I$$

Esta restricción limita el resto de precios en el modelo a través de las condiciones de actividad de las empresas. En primer lugar, la condición de actividad en las empresas de bienes de consumo final plantea que:

$$\forall i \in I^{\mathfrak{g}}, \qquad p_i^{\mathfrak{g}}(\omega) > \sum_{k \in b(i)} \alpha_{ik} p_{ki}^{\mathfrak{m}}$$

como $0 \leq \alpha_{ik} \leq 1$, esto implica:

$$\forall i \in I^{\mathfrak{g}}, \forall k \in b(i), \qquad p_{ki}^{\mathfrak{m}} < I$$

Asimismo, la condición de actividad de las empresas de bienes intermedios plantea que:

$$\forall j \in J^{\mathfrak{m}}, \forall k \in \Delta_j^+(R), \qquad p_{jk}^{\mathfrak{m}} > \sum_{i \in b(j)} \sum_{\substack{k' \in \\ \Delta_{\bar{j}i}^-(\omega)}} \alpha_{ji} p_{k'j}^{\mathfrak{m}}$$

lo cual implica también:

$$\forall j \in J^{\mathfrak{m}}, \forall k \in \Delta_j^+(R), \;\; p_{jk}^{\mathfrak{m}} < I$$

En consecuencia, $p^{\mathfrak{m}}$ pertenece a un conjunto convexo y compacto $A = \left\{p \in \mathbb{R}_+^N \times \mathbb{R}_+^{N^{\mathfrak{m}}} \mid \forall j,k \in J^{\mathfrak{m}}, \;\; p_{jk} < I\right\}$.

B.3. El beneficio $E\left[\pi_j / p_j^{\mathfrak{m}}, p_{-j}^{\mathfrak{m}}\right]$ para una empresa $j \in J^{\mathfrak{m}}$ es una función continua en $p_j^{\mathfrak{m}}$

Antes de realizar este paso, primero replanteemos el problema de elección probabilística del comprador cuando el trade-off entre ganancia y riesgo posee una especificación lineal.

$$\begin{aligned} &\max_{\psi} \; \psi_{jk}\Pi_j + \left(1 - \psi_{jk}\right)\Pi_{\bar{j}} \\ &s.r \\ &f\left(\psi_{jk}\right) \geq \beta \\ &0 \leq \psi_{jk} \leq 1 \end{aligned}$$

donde ψ_{jk} es la probabilidad que asigna el comprador k a la transacción con el proveedor habitual j; $\Pi_j, \Pi_{\bar{j}}$ son las ganancias de transar con el proveedor habitual j y el proveedor rival $\bar{j}$, respectivamente; β es un valor mínimo de preferencia para el trade-off, y $f\left(\psi_{jk}\right)$ es una función lineal de la forma:

$$f\left(\psi_{jk}\right) = \left(\Pi_{\bar{j}} - \Pi_j\right) + a\left(1 - \psi_{jk}\right)\left(\phi_{\bar{j}}\varepsilon_{\bar{j}} - \phi_j\varepsilon_j\right), \qquad a > 0$$

Para que exista una solución interior, se asume que $\beta < \left(\Pi_{\bar{j}} - \Pi_j\right) < \beta - a\left(\phi_{\bar{j}}\varepsilon_{\bar{j}} - \phi_j\varepsilon_j\right)$. De esta manera, se tiene que la elección probabilística se encuentra determinada por:

$$\psi_{jk} = 1 - \frac{\beta - (\Pi_{\bar{j}} - \Pi_j)}{a(\phi_{\bar{j}}\varepsilon_{\bar{j}} - \phi_j\varepsilon_j)} \qquad [7]$$

Debido a la tecnología Marx-Leontief, se conoce que $\Pi_{\bar{j}} - \Pi_j = -\alpha_{k,a(j)}\left(p^{\text{m}}_{jk} - p^{\text{m}}_{\bar{j}k}\right)$, por lo que la función de probabilidad es:

$$\psi_{jk} = 1 - \frac{\beta + \alpha_{k,a(j)}\left(p^{\text{m}}_{jk} - p^{\text{m}}_{\bar{j}k}\right),}{a(\phi_{\bar{j}}\varepsilon_{\bar{j}} - \phi_j\varepsilon_j)} \qquad [7]$$

En base a esta elección, se puede constatar que:

$$\begin{aligned} &\frac{\partial \psi_{jk}}{\partial p^{\text{m}}_{jk}} = \frac{1}{a(\phi_{\bar{j}}\varepsilon_{\bar{j}} - \phi_j\varepsilon_j)} < 0, \ \frac{\partial^2 \psi_{jk}}{\partial {p^{\text{m}}_{jk}}^2} = 0 \\ &\frac{\partial \psi_{\bar{j}k}}{\partial p^{\text{m}}_{jk}} = \frac{1}{a(\phi_{\bar{j}}\varepsilon_{\bar{j}} - \phi_j\varepsilon_j)} < 0, \ \frac{\partial^2 \psi_{\bar{j}k}}{\partial {p^{\text{m}}_{jk}}^2} = 0 \end{aligned} \qquad [8]$$

En otras palabras, las funciones de probabilidad ψ_{jk} y $\psi_{\bar{j}k}$ son funciones continuas decrecientes y cóncavas en los precios p^{m}_{jk} y $p^{\text{m}}_{\bar{j}k}$, respectivamente. Estas conclusiones son puntos importantes para continuar con la demostración.

Retomemos ahora el paso 4. Como se recordará, el beneficio esperado de las empresas que producen bienes intermedios es:

$$E\left[\pi_j / p^{\text{m}}_j, p^{\text{m}}_{-j}\right] = \sum_{\omega \in \Omega} \Psi\left(\omega / p^{\text{m}}_j, p^{\text{m}}_{-j}\right)\ \pi_j\left(p^{\text{m}}_j, p^{\text{m}}_{-j}, \omega\right)$$

Por un lado, la probabilidad $\Psi\left(\omega / p^{\text{m}}_j, p^{\text{m}}_{-j}\right)$ es igual a la multiplicación de las probabilidades $\psi_{jk}\left(p^{\text{m}}_{jk}, p^{\text{m}}_{\bar{j}k}\right)$, las cuales tienen la forma continua [7].

Por otro lado, el beneficio $\pi_j\left(p^{\text{m}}_j, p^{\text{m}}_{-j}, \omega\right)$ en cada realización $\omega \in \Omega$ representa:

$$\pi_j\left(p^{\text{m}}_j, p^{\text{m}}_{-j}, \omega\right) = \sum_{k \in \Delta^+_j(\omega)} p^{\text{m}}_{jk}\, z_{k,a(j)}\left(y_k, p^{\text{m}}_{jk}, p^{\text{m}}_{-j}, w(\omega)\right) - c_j\left(y_j, p^{\text{m}}_{-j}, w(\omega)\right)$$

Aquí, la demanda condicionada $z_{k,a(j)}$ y el costo mínimo c_j se determinan a partir del problema de minimización de costos con una tecnología Marx-Leontief para la demanda de insumos y mano de obra. Formalmente, este problema para la empresa j tiene la forma:

$$\min_{z_{ji}} \sum_{i \in b(j)} \sum_{\substack{k \in \\ \Delta^-_{ji}(\omega)}} p^{\text{m}}_{kj}\, z_{ji} + w\, l_j$$

$$\min\left\{\frac{z_{j1}}{\alpha_{j1}}, \ldots, \frac{z_{jn}}{\alpha_{jn}}, \frac{l_j}{\alpha_{jl}}\right\} = y_j$$

Resolviendo este problema se obtiene:

$$l_j = \alpha_{jl} w \qquad z_{ji} = \alpha_{ji} y_j, \qquad \forall i \in b(j)$$

$$c_j = y_j \left(\sum_{i \in b(j)} \sum_{\substack{k \in \\ \Delta_{ji}^{-}(\omega)}} \alpha_{ji} p_{kj}^{m} \; + \; \alpha_{jl} w \right), \qquad y_j = \sum_{\substack{k \in \\ \Delta_j^{+}(\omega)}} z_{k,a(j)}$$

con lo cual el beneficio en la realización $\omega \in \Omega$ es:

$$\pi_j\left(p_j^{m}, p_{-j}^{m}, \omega\right) = \sum_{k \in \Delta_j^{+}(\omega)} \alpha_{k,a(j)} p_{jk}^{m} \, y_k \; - y_j \left(\sum_{i \in b(j)} \sum_{\substack{k \in \\ \Delta_{ji}^{-}(\omega)}} \alpha_{ji} p_{kj}^{m} \; + \; w \alpha_{jl} \right) \qquad [9]$$

Como se observa, esta función es lineal y continua en p_j^{m} .

Por lo tanto, debido a que $\Psi\left(\omega / p_j^{m}, p_{-j}^{m}\right), \pi_j\left(p_j^{m}, p_{-j}^{m}, \omega\right)$ son funciones continuas, se puede concluir que el beneficio esperado $E\left[\pi_j / p_j^{m}, p_{-j}^{m}\right]$ también es una función continua.

B.4. El beneficio $E\left[\pi_j / p_j^{m}, p_{-j}^{m}\right]$ para una empresa $j \in J^{m}$ es una función cóncava en p_j^{m}

Para realizar este paso, es necesario realizar dos observaciones sobre el valor esperado $E\left[\pi_j / p_j^{m}, p_{-j}^{m}\right]$. Primero, notemos que la función de probabilidad $\Psi\left(\omega / p_j^{m}, p_{-j}^{m}\right)$ se puede reescribir de la siguiente forma:

$$\Psi\left(\omega / p_j^{m}, p_{-j}^{m}\right) = \Psi_{-j}\left(\omega / p_{-j}^{m}\right) \Psi_j\left(\omega / p_j^{m}\right)$$

donde Ψ_{-j} es la multiplicación de probabilidades de contratación de todas en las empresas en la red, excepto la empresa j; y Ψ_j es la multiplicación de probabilidades de contratación exclusivamente de la empresa j. Formalmente:

$$\Psi_{-j}\left(\omega / p_{-j}^{m}\right) = \prod_{r \neq j} \prod_{s \in \Delta_r^{+}(\omega)} \psi_{rs}$$

$$\Psi_j\left(\omega / p_j^{m}\right) = \prod_{k \in \Delta_j^{+}(\omega)} \psi_{jk}$$

Segundo, debido a la especificación lineal (9), el conjunto de realizaciones Ω sobre las cuales se determina el valor esperado $E\left[\pi_j / p_j^{m}, p_{-j}^{m}\right]$ puede contraerse a un conjunto de menor tamaño $\hat{\Omega}$ que contenga aquellas realizaciones en las cuales los proveedores transen exclusivamente con un solo comprador. Es decir:

$$\hat{\Omega} = \left\{ \omega \in \Omega \mid \forall j \in J \;\; \left|\Delta_j^{+}(\omega)\right| = 1 \right\}$$

Bajo estas consideraciones, el beneficio esperado se transforma en:

$$E\left[\pi_j / p_j^{m}, p_{-j}^{m}\right] = \sum_{\omega \in \hat{\Omega}} \Psi_{-j}\left(\omega / p_{-j}^{m}\right) \sum_{\substack{k \in \\ \Delta_j^{+}(R)}} \alpha_{k,a(j)} \, y_k \, \psi_{jk}\left(p_{jk}^{m}, p_{\bar{j}k}^{m}\right) \left(p_{jk}^{m} - \sum_{i \in b(j)} \sum_{\substack{k \in \\ \Delta_{ji}^{-}(\omega)}} \alpha_{ji} p_{kj}^{m} - \; \alpha_{jl} w \right)$$

En esta función, los términos $\Psi_{-j}, \left\{ y_k \mid k \in \Delta_j^{+}(R) \right\}, \left\{ p_{kj}^{m} \mid i \in b(j), k \in \Delta_{ji}^{-}(\omega) \right\}$ no dependen de p_j^{m} , por lo que permanecen constantes para las decisiones que toma la empresa j . En este sentido,

la concavidad de $E\left[\pi_j / p_j^{\text{m}}, p_{-j}^{\text{m}}\right]$ respecto a p_j^{m} se encuentra determinada exclusivamente por el comportamiento del siguiente término:

$$h(p_{jk}^{\text{m}}) = \psi_{jk}(p_{jk}^{\text{m}}, p_{jk}^{\text{m}}) \left(p_{jk}^{\text{m}} - \sum_{i \in b(j)} \sum_{\substack{k \in \\ \Delta_{ji}^{-}(\omega)}} \alpha_{ji} p_{kj}^{\text{m}} - w\alpha_{jl} \right)$$

La segunda derivada de este término respecto a p_{jk}^{m} es:

$$\frac{\partial^2 h}{\partial p_{jk}^{\text{m}\,2}} = \frac{\partial^2 \psi_{jk}^{*}}{\partial p_{jk}^{\text{m}\,2}} p_{jk}^{\text{m}} + 2 \frac{\partial \psi_{jk}^{*}}{\partial p_{jk}^{\text{m}}}$$

lo cual, debido a [8] se tiene:

$$\forall k \in J, \forall i \in b(k), \forall j \in c(k,i), \qquad \frac{\partial^2 h}{\partial p_{jk}^{\text{m}\,2}} < 0$$

Por lo tanto, el termino $h(p_{jk}^{\text{m}})$ es una función cóncava respecto a p_{jk}^{m}. Puesto que cualquier combinación lineal de funciones cóncavas también es cóncava, entonces queda demostrado que $E\left[\pi_j / p_j^{\text{m}}, p_{-j}^{\text{m}}\right]$ es una función cóncava respecto a p_j^{m}.

B.5. Existe una matriz de precios $p^{\text{m}*}$ que resuelve simultáneamente el problema de decisión de las empresas de bienes de consumo intermedio

Este paso hace uso de los resultados obtenidos en los pasos anteriores. El paso 1 demuestra que existen $x(\omega), y(\omega), p^{\text{g}}(\omega), w(\omega), \ \forall \omega \in \Omega$ tal que se cumplen las condiciones de equilibrio ex-post, por lo que el valor esperado $E\left[\pi_j / p_j^{\text{m}}, p_{-j}^{\text{m}}\right], \ \forall j \in J^{\text{m}}$ se encuentra bien definido. Por otro lado, el paso 2 demuestra que los precios $p^{\text{m}} \in A$, donde A es un conjunto compacto y convexo. Finalmente, los pasos 3 y 4 demuestran que el beneficio esperado $E\left[\pi_j / p_j^{\text{m}}, p_{-j}^{\text{m}}\right]$ es una función continua y cóncava respecto a p_j^{m}.

En consecuencia, utilizando el teorema de existencia del equilibrio de Nash para estrategias continuas, se tiene que existe una matriz de precios $p^{\text{m}*}$ que maximiza simultáneamente el beneficio esperado de las empresas. Esto es, cada empresa $j \in J^{\text{m}}$ determina su vector de precios $p_j^{\text{m}*}$ que maximiza sus ganancias, asumiendo que el resto de empresas en la red productiva actúa de la misma forma para los precios $p_{-j}^{\text{m}*}$. Formalmente:

$$\exists p^{\text{m}*} \in A \mid \forall j \in J^{\text{m}}, \qquad E\left[\pi_j / p_j^{\text{m}*}, p_{-j}^{\text{m}*}\right] > E\left[\pi_j / p_j^{\text{m}}, p_{-j}^{\text{m}*}\right], \forall p_j^{\text{m}} \in A_j$$

C. Algoritmo para hallar el Equilibrio General de Mercado

El EGM Λ se caracteriza por ser un equilibrio de Nash dentro de una estructura de equilibrio ex-post. Una de las técnicas más simples para determinar este tipo equilibrio es utilizar el método de punto fijo. Este método emplea las funciones de reacción que se derivan del modelo para hallar iterativamente los valores que resuelven el equilibrio. Ésta es la opción que se escoge en el presente documento y se detalla a través del siguiente algoritmo.

Algoritmo. Determinación del EGM

1. Hallar todas las realizaciones de la red productiva $\omega \in \Omega$

2. Dar un valor inicial a los precios $p^{\mathfrak{m},0} \in \mathbb{R}_+^N \times \mathbb{R}_+^{N^{\mathfrak{m}}}$.

3. Mientras $\|p^{\mathfrak{m},t+1} - p^{\mathfrak{m},t}\| \geq \epsilon$

3.1. Establecer $p^{\mathfrak{m},t} = p^{\mathfrak{m},t-1}$

3.2. Para toda realización $\omega \in \Omega$

3.2.1. Hallar los vectores $x(\omega), y(\omega), p^{\mathfrak{g}}(\omega), w(\omega)$ que resuelven: $H(x(\omega), y(\omega), p^{\mathfrak{g}}(\omega), w(\omega), p^{\mathfrak{m},t}) = 0$.

3.2.2. Ingresar la solución $y(\omega)$ en la matriz Y_{-j}

3.3. Para toda empresa $j \in J^{\mathfrak{m}}$,

3.3.1. Hallar el vector de precios $p_j^{\mathfrak{m},t+1} \in \mathbb{R}_+^N$ tal que

$p_j^{\mathfrak{m},t+1} = F_j\left(p_{-j}^{\mathfrak{m},t}, W, Y_{-j}\right)$.

EGM: $\Lambda \leftarrow p^{\mathfrak{m}*}$

4. Para toda realización $\omega \in \Omega$

4.1. Hallar los vectores $x^*(\omega), y^*(\omega), p^{\mathfrak{g}*}(\omega), w^*(\omega)$ que resuelve: $H(x^*(\omega), y^*(\omega), p^{\mathfrak{g}*}(\omega), w^*(\omega), p^{\mathfrak{m}*}) = 0$.

EGM: $\Lambda \leftarrow (p^{\mathfrak{m}*}, \{x^*(\omega), y^*(\omega), p^{\mathfrak{g}*}(\omega), w^*(\omega)\}_{\omega \in \Omega})$

REVISTA DE MÉTODOS CUANTITATIVOS PAR LA ECONOMÍA Y LA EMPRESA (33). Páginas 226-241.
Junio de 2022. ISSN: 1886-516X. D.L: SE-2927-06.
www.upo.es/revistas/index.php/RevMetCuant/article/view/5400

Fractalidad implícita en el comercio internacional

LAGUNAS PULS, SERGIO
Universidad del Caribe (México)
Correo electrónico: slagunas@ucaribe.edu.mx

RESUMEN

El objetivo de este trabajo es determinar si las operaciones de comercio internacional, despachadas por las aduanas marítimas de México, presentan características fractales con memoria de largo plazo. Para estimar el exponente de Hurst (H), se empleó el método de rango escalado (R/S) aplicado a 1,700 datos agrupados por cada aduana del país, considerando como hipótesis que se presenta memoria de largo plazo cuando H sea igual o mayor a 0.5 y menor o igual a 1. Los resultados permiten afirmar que sí existe memoria de largo plazo, con lo cual las autoridades podrían administrar más eficientemente los recursos asignados a las aduanas marítimas del país.

Palabras clave: comercio internacional, dimensión fractal, aduanas marítimas.
Clasificación JEL: F13; F23; N76.
MSC2010: 28A80; 81Q35.

Artículo recibido el 4 de noviembre de 2020 y aceptado el 2 de agosto de 2021.

Implicit fractality in international trade

ABSTRACT

In this paper, the objective is to determine whether international trade operations, cleared by maritime customs in Mexico, present fractal characteristics with long term memory. To estimate the Hurst exponent (H), the scaled rank method (R/S) was applied to 1,700 data grouped by each customs office in the country, considering as a hypotheses that long-term memory is present when H is equal or greater than 0.5 and less than or equal to 1. The results allow affirming that long-term memory does exist, with which the authorities could manage more efficiently the resources assigned to the country's maritime customs offices.

Keywords: international trade, fractal dimension, maritime customs.
JEL classification: F13; F23; N76.
MSC2010: 28A80; 81Q35.

1. Introducción

Tras la introducción por Hurst (1951) del denominado fenómeno Hurst para caracterizar la persistencia en el río Nilo (O'Connell et al., 2015; Sutcliffe et al., 2016) y la posterior formulación de la geometría fractal (incluida la noción de dimensión fractal) por Mandelbrot (1975; 1982), el uso de los fractales y de la dimensión fractal en distintos ámbitos de conocimiento se inició en la década de 1980 y se consolidó en la de 1990. De hecho, el conjunto de Mandelbrot es considerado como uno de los "monstruos matemáticos" junto a los tres fractales lineales clásicos, el conjunto de Cantor, la curva del Hilbert y el copo de nieve de Koch (Rubiano, 1997; Debnath, 2006). Todos estos objetos matemáticos comparten una misma propiedad: una ilimitada conformación similar en múltiples niveles o escalas (Gomory, 2010; Peitgen, 2010). De hecho, ya existen aplicaciones previas de los fractales en el ámbito de las Finanzas como puede ser la medición del riesgo en los mercados (Mostenau, 2019).

De esta manera, ya en el siglo XXI, la medición fractal ha continuado como una metodología bien aceptada en diversas disciplinas: en aspectos humanos y de salud (Rodríguez et al., 2006); en fenómenos naturales como las precipitaciones pluviales (Martín-Vide et al, 2001), reproducción de organismos (Modesto-Iregui, Guillot & Donato, 2002); en industrias y sus procesos, como en la de combustibles (Suárez-Domínguez et al., 2013) o en la industria de la construcción (Iturriaga & Jovanovich, 2012); en mercados financieros (Calvet & Fisher, 2013; Kristoufek & Vosvrda, 2013; Rodríguez, 2014); en impuestos y finanzas públicas (Lagunas, Aguilar & Rodríguez, 2014); y recientemente se ha considerado la aplicación fractal al comercio con enfoque global (Karpiarz, Fronczak & Fronczak, 2014); en todos los casos el interés fundamental ha sido estimar las propiedades fractales representadas por el exponente de Hurst (H) y por la dimensión fractal (D).

Inspirados en las múltiples aplicaciones que permiten emplear características fractales de exponente H y dimensión D, en este trabajo, se realizarán valoraciones de las series temporales de operaciones de comercio exterior en las aduanas marítimas de México. La hipótesis principal de trabajo será que las operaciones despachadas en estas aduanas siguen patrones fractales con exponente $H>0.5$, en cuyo caso la dimensión fractal será $1<D\leq 1.5$. Para ello, después de esbozar la conformación de la aduana mexicana, se presentará una síntesis con la metodología para obtener las características H y D, dando seguidamente paso al análisis de las series de interés y a los resultados y conclusiones obtenidos.

2. La aduana de México

En México, el Servicio de Administración Tributaria (SAT) es un órgano desconcentrado de la Secretaría de Hacienda y Crédito Público (SHCP), con el propósito de recaudar impuestos internos (de operaciones que ocurren dentro del país) y arancelarios (principalmente por la importación de bienes), facilitando a los contribuyentes los mecanismos, instructivos o manuales, para que cumplan correctamente con las obligaciones fiscales (Servicio de Administración Tributaria, 2020a).

El SAT, para el cumplimiento de sus funciones, cuenta con las siguientes administraciones: Administración General de Grandes Contribuyentes, Administración General de Recaudación, Administración General de Planeación, Administración General de Evaluación, Administración General de Auditoría Fiscal Federal, Administración General Jurídica, Administración General de Recursos y Servicios, Administración General de Servicios al Contribuyente, Administración General de Auditoría de Comercio Exterior y Administración General de Aduanas, siendo estas últimas dos las relacionadas directamente con las operaciones de comercio internacional (Servicio de Administración Tributaria, 2020b).

La Administración General de Auditoría de Comercio Exterior es la encargada de la planeación, organización y en general de dirigir y controlar las funciones de prevención y combate de conductas ilícitas en el comercio internacional. Por otra parte, la Administración General de Aduanas tiene como encomienda el despacho aduanero; dicho de otra manera, la verificación de la salida y entrada de

mercancías a territorio nacional. Por tanto, sus actividades están directamente realizadas en el momento en que se desarrollan las operaciones, mientras que la auditoría se realiza previamente o bien a posteriori de haber realizado operaciones (Instituto Nacional de Acceso a la Información, 2020).

La Administración General de Aduanas cuenta con 84 aduanas en México, que se encuentran distribuidas en todas las regiones del país y se clasifican en 11 aduanas interiores, 21 fronterizas y 17 aduanas marítimas, estas últimas ubicadas en los estados de Baja California, Baja California Sur, Campeche, Colima, Guerrero, Oaxaca, Michoacán, Quintana Roo, Sinaloa, Sonora, Tamaulipas y Tabasco Tamaulipas, Veracruz y Yucatán. Es importante destacar que las aduanas establecidas en los estados pueden tener secciones (sucursales) con dependencia a una aduana; por ejemplo, la aduana de Cancún cuenta con dos secciones, una en el Municipio de Puerto Morelos y otra en el Municipio de Cozumel (Secretaría de Hacienda y Crédito Público, 2020).

Conforme a las leyes de México, las operaciones de comercio exterior con fines comerciales deben estar amparadas con un pedimento (Congreso de la Unión, 2020) bajo el cual, las personas autorizadas para realizar actividades en la aduana, deben presentarlo, describiendo los elementos fundamentales como tipo de mercancía y clasificación arancelaria, entre otros.

Los pedidos en el año 2019 alcanzaron 6.8 millones de importaciones, lo que significó incremento de 0.3% con respecto al año 2018, mientras que en operaciones de exportación fueron 2.6 millones de pedimentos, representado un incremento del 0.9% con respecto a 2018 (Servicio de Administración Tributaria, 2020c).

Tan solo durante el año 2019 el valor de las importaciones sumó 9,891,105,534,545.80 pesos, en un total de 10,812,183 operaciones, mientras que el valor de las exportaciones alcanzó 9,797,607,537,435.78 pesos, en un total de 9,015,807 operaciones (Secretaría de Hacienda y Crédito Público, 2020). Lo anterior hizo posible una recaudación del Impuesto al Valor Agregado (IVA) de 624,781,701,232 pesos, del Impuesto General de Importación (IGI) 60,081,432,315 peso, del Impuesto Especial de Producción y Servicios 204,607,236,151 (IEPS) y Derechos de Trámite Aduanero (DTA) por 1,490,499,949 pesos.

Lo anterior representa el importante volumen de actos en comercio internacional y su impacto en los recursos públicos, en los que participa la aduana mexicana, siendo interesante y necesario conocer si este patrón de operaciones puede tener relación de invarianza o memoria de largo plazo, con respecto a períodos pasados.

Existen precedentes sobre la aparición de características fractales en la manera en la que los contribuyentes aportan al gasto público mediante el pago de impuestos internos (Lagunas, Aguilar, & Rodríguez, 2014). No obstante, en materia de comercio exterior, específicamente en cuanto al número de operaciones, resulta importante analizar si también se comparten estas características, interpretadas como un hábito que, en distintas escalas de tiempo (diez meses, veinticinco meses, cincuenta meses, etcétera), presentan persistencia pudiendo comprender mejor los fenómenos comerciales. Por tal situación, en el siguiente apartado se presenta una síntesis de estudios precedentes que describen los métodos de rango escalado R/S para estimar el exponente de Hurst (H) y dimensión fractal (D) que serán aplicados al número de operaciones de comercio internacional realizados por alguna de las aduanas marítimas de México.

3. Exponente de Hurst y Dimensión Fractal

Para analizar si una serie de datos, en este caso las operaciones despachadas por la aduana, presenta persistencia (dicho de otra manera, sigue un patrón fractal) a lo largo del período de tiempo analizado, habría que dividir la serie total de las operaciones en periodos temporales de menor amplitud (una partición) y constatar la existencia de características similares en todos ellos y, por tanto, podremos

afirmar la persistencia (invarianza) o memoria de largo plazo que, en análisis fractal, viene determinado por ese conservación de patrones similares (o fractalidad) en distintos períodos de la misma serie.

Para los autores Plazas, Ávila y Moncada (2014), Hernández y Avilán (2016), y Luengas, Ardilla y Moreno (2010), el exponente de Hurst (H) debe seguir etapas claramente definidas, iniciada con la identificación de la serie de interés, que debe ser dividida en partes, llamados particiones, en las que se incluya el total de los datos de la serie original; cada una de estas particiones servirán para estimar las propiedades de invarianza, de ahí el término invarianza en escala.

La segunda etapa corresponde a determinar dos parámetros estadísticos para cada partición, la media μ y la desviación estándar S, después calcular la diferencia de cada dato respecto a μ. Realizado lo anterior, se obtienen las diferencias acumuladas por partición y se obtiene el rango (R) que es la diferencia entre el valor mayor y el menor de cada diferencia acumulada.

Determinado R en cada partición, su valor debe dividirse entre la desviación S de esa misma partición, obteniendo así el Rango Escalado $\left({}^{R}/_{S}\right)$, agrupando los resultados ${}^{R}/_{S}$ de acuerdo con su clase, por ejemplo, si se decidió dividir los datos en 4 partes de 25, de estos se determina el promedio, obteniendo el ${}^{R}/_{S}$ que represente a toda la clase.

La información que se pretende analizar mediante fractalidad es recomendable organizarla en una tabla en la que su primera columna representa el número de particiones que se consideran para tratar los datos. De este modo, si consideramos solo una partición, su tamaño será el total (N) de los datos considerados; mientras que, si consideramos más particiones, éstas tendrán un tamaño n que será menor a medida que aumente el número de particiones, lo que nos permitirá obtener todas las categorías que conformarán la primera columna. La segunda columna de la tabla debe contener el promedio de los valores R/S calculados para las categorías en función de la partición hecha.

La tabla anterior incluirá otras dos columnas para registrar la información del resultado de aplicar logaritmo neperiano (LN) a los valores de las dos columnas antes indicadas: número de clases o particiones y promedio de *R/S* para esa partición. Los valores de estas dos últimas columnas se utilizan para realizar un análisis de regresión lineal simple, con las abscisas representando los logaritmos neperianos de las particiones y las ordenadas, los de los promedios de *R/S*. Precisamente, el coeficiente b1 que representa la pendiente de la recta de regresión es el valor estimado del exponente H de Hurst.

$$x_t t = a, \cdots, T$$

$$n = \frac{X}{i} \quad [1]$$

$$\langle X \rangle_T = \frac{1}{T}\sum_{t=1}^{T} X_t \quad [2]$$

$$X = (t, T) = \sum_{u=1}^{t}[x(u) - \langle X \rangle_T] \quad [3]$$

$$R(T) = maxX(t, T) - minX(t, T) 1 \leq t \leq T \quad [4]$$

$$Sd = \sqrt{\frac{1}{T}\sum_{t=1}^{T}[x(t) - \langle x \rangle_T]^2} \quad [5]$$

$$\frac{R}{Sd} = (cT)^H \quad [6]$$

$$log\left(\frac{R}{Sd}\right) = H \log T + \log c \quad [7]$$

El exponente H debe ser un valor comprendido en el intervalo [0, 1]. Si H<0.5, entonces podemos considerar que existe poca persistencia de largo plazo y que un aumento de valores en cierto período de tiempo puede traer una disminución en un tiempo posterior. Por otra parte, cuando se satisface 0.5<H<1, puede concluirse la presencia de memoria de largo plazo y correlación entre las escalas y los valores escalados en distintas etapas temporales, por lo que se han de esperar aumentos o disminuciones similares en el futuro. Finalmente, si H=0.5, se ha de concluir la ausencia de relación entre las variables y, por tanto, se debe considerar un alto nivel de aleatoriedad, siendo más adecuada su catalogación como un proceso browniano, en el que las situaciones acontecidas a distintas escalas de tiempo son variantes al no presentar memoria o correlación (Hernández & Avilán, 2016).

En cuanto a la dimensión fractal (D) una manera convencional para explicarla es comprender que su valor en geometría representa el espacio de cada una de las escalas en la primera figura que dio origen a las demás, aunque todas de características similares, es decir, fractales.

Otra forma de entender esta dimensión es como una medida de irregularidad. Por ejemplo, si en una partición, digamos de 30 meses, se observan n disminuciones con n incrementos y estas características se observan invariantes en otros períodos de distinta amplitud de tiempo, la medición o amplitud de estas características, también llamadas irregularidades, es la dimensión fractal que, en la naturaleza siempre será un número fraccionado a diferencia de las dimensiones euclidianas (de Spinadel, 2003).

En cuanto al interés dimensional en variables cuantitativas (como puede ser precios de activos financieros, impuestos recaudados o, como es el caso del presente artículo, operaciones de comercio internacional), la dimensión debe interpretarse como el tamaño o "espacio" entre los rangos escalados de cada partición y las características invariantes.

Al igual que en H, el valor teórico de D puede interpretarse teniendo en cuenta los siguientes criterios: si $D \in \mathrm{N}$ es un número natural, se debe interpretar la ausencia de fractalidad ya que estaríamos en el ámbito de objetos geométricos correspondientes a un espacio euclídeo. Así, si D=1 estaríamos con una línea recta y si D=2 con una figura plana; lo que, por analogía en el contexto de este trabajo, podría interpretarse como valores constantes al paso del tiempo. La fractalidad aparece cuando el valor de D se encuentra estrictamente entre dos valores naturales y, por tanto, presenta parte decimal no nula. Por ejemplo, si D pertenece al intervalo (1, 2), estaríamos realmente con un objeto fractal para el que la complejidad de su estructura dependerá del valor de esta dimensión y su proximidad a alguno de los extremos. Por analogía en el contexto que estamos considerando, cuanto más cercano a 1 sea el valor de D, la estructura fractal permitirá una mejor comprensión de la influencia de fenómenos pasados para los siguientes en el futuro, características que se presentarían en períodos cortos, medios y de largo plazo.

Con la estimación de H mediante los rangos escalados R/S, la estimación para D sería la siguiente, de conformidad con Luengas, Ardila y Moreno (2010):

$$D = 2 - H \qquad [8]$$

De acuerdo con lo anteriormente expuesto, la siguiente sección presenta los datos y resultados de la medición fractal para las operaciones de comercio exterior de interés.

4. Métodos y resultados

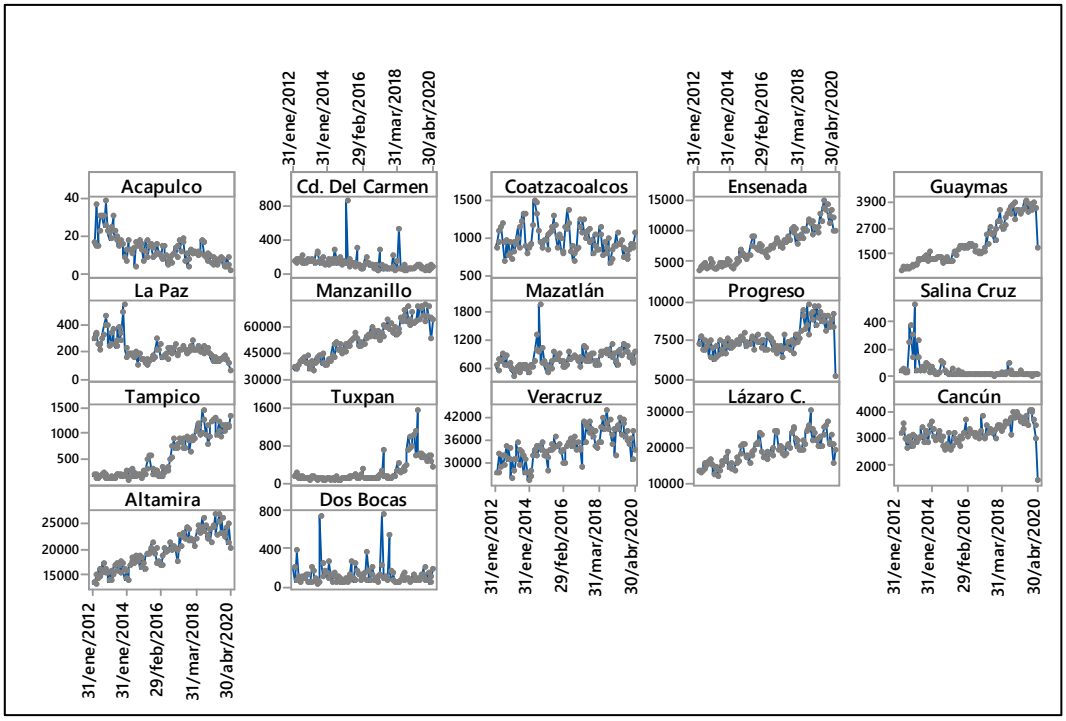
La variable de interés son las operaciones de comercio internacional realizadas a través de las 17 aduanas marítimas del país, mediante observaciones mensuales, iniciándose en el mes de enero 2012 y concluyendo en abril 2020; es decir, 100 observaciones para cada aduana.

Conforme con el objetivo “determinar si las operaciones de comercio internacional, despachadas por las aduanas marítimas de México, presentan características fractales con memoria de largo plazo”, se presenta la hipótesis general para cada una de las 17 aduanas, como sigue:

$Si\ 0.5 < H \leq 1$, entonces las operaciones comerciales tienen persistencia de largo plazo, en donde operaciones realizadas en períodos más cortos tienden a tener comportamiento similar en períodos más largos, se rotulará como “sí presenta memoria”; por tener interés específico de este artículo en la memoria de largo plazo, cuando el valor de H resulte inferior a 0.5 entonces se rechazará la hipótesis y se rotulará como “no presenta memoria”.

Debido al volumen total de datos que deben procesarse (1,700 agrupados en 100 datos mensuales por aduanas (Gráfico 1), los estimados para H se calculan haciendo uso del proceso Hurstexp en el entorno R de software libre para computación estadística, indicando a dicho proceso que determine el número máximo de particiones posibles.

Gráfico 1. Series de tiempo de las aduanas marítimas mexicanas, sujetas a particiones.



Fuente: Elaboración propia mediante Minitab

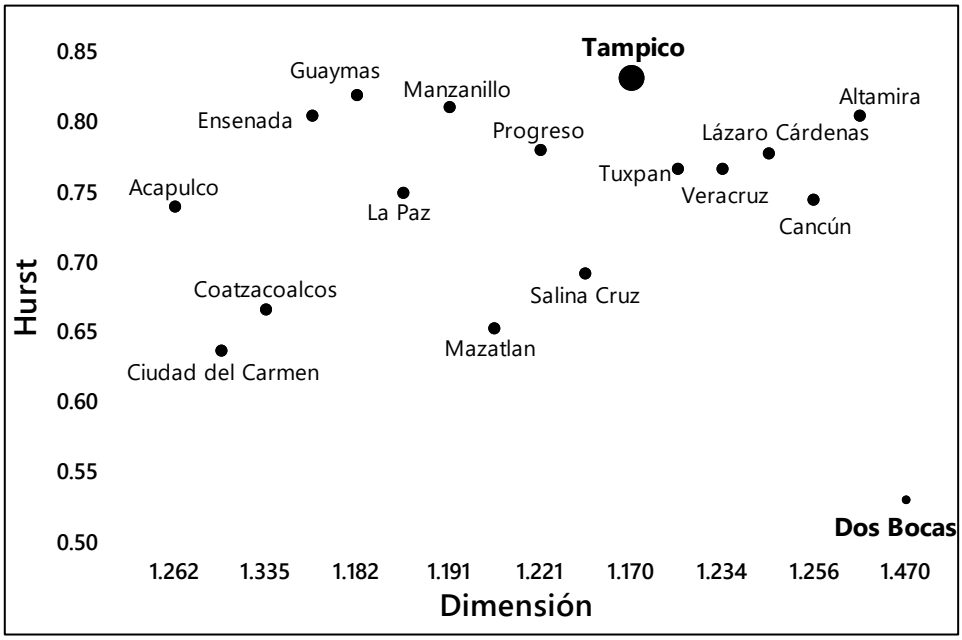
Tabla 1. Exponente de Hurst y Dimensión Fractal en las Aduanas Marítimas de México.

Aduana	Estado	Exponente de Hurst (H)	Dimensión Fractal (D)
Acapulco	Guerrero	0.738	1.262
Ciudad del Carmen	Campeche	0.636	1.364
Coatzacoalcos	Veracruz	0.665	1.335
Ensenada	Baja California	0.803	1.197
Guaymas	Sonora	0.818	1.182
La Paz	Baja California Sur	0.748	1.252
Manzanillo	Colima	0.809	1.191
Mazatlán	Sinaloa	0.652	1.348
Progreso	Yucatán	0.779	1.221

Salina Cruz	Oaxaca	0.691	1.309
Tampico	Tamaulipas	0.830	1.170
Tuxpan	Veracruz	0.765	1.235
Veracruz	Veracruz	0.766	1.234
Lázaro Cárdenas	Michoacán	0.777	1.223
Cancún	Quintana Roo	0.744	1.256
Altamira	Tamaulipas	0.804	1.196
Dos Bocas	Tabasco	0.530	1.470

Fuente: Elaboración propia mediante R.

Gráfico 2. Grado de fractalidad de las aduanas marítimas mexicanas.



Fuente: Elaboración propia mediante Minitab.

El grado de Fractalidad en las aduanas marítimas mexicanas se puede interpretar a partir de la información disponible en el Gráfico 2. De hecho, debido a que la memoria de largo plazo (mayor invarianza o menor variación en diferentes escalas en el tiempo) se presenta cuando el valor para H supera 0.5 y es lo más cercano a 1, entonces con este criterio y considerando solo el exponente H, la mayor fractalidad se encuentra en los puntos más cercanos a la parte superior del Gráfico 2. Por otra parte, en lo que a la dimensión D se refiere, la presencia de memoria de largo plazo o invarianza más fuerte se presentaría en los valores más cercanos a 1.

La cuestión "¿las aduanas marítimas despachan operaciones que pueden depender de costumbres y hábitos al través del tiempo?", que se ha planteado en este trabajo, obtendría como respuesta que el comercio internacional comparte patrones (también llamados hábitos o costumbres), en base a las mediciones fractales que permiten observar la presencia de memoria o invarianza en escala, que pueden tener su explicación desde distintos enfoques, como, por ejemplo, provocados por ciertas facilidades o eficiencia aduanera. Sin embargo, estos últimos dos atributos son especulativos y no se han analizado en este trabajo, cuyos resultados solo permiten afirmar la presencia de patrones repetitivos en escalas de tiempo distintas.

De acuerdo con lo anterior, la mayor fractalidad corresponde a la Aduana de Tampico en el estado de Tamaulipas, mientras que la menor memoria de largo plazo o fractalidad corresponde a la Aduana Dos Bocas, en el estado de Tabasco.

5. Conclusiones

Las operaciones de comercio internacional, despachadas mediante las adunas marítimas de México, presentan claramente memoria y persistencia ya que, en todos los casos, los valores obtenidos para el exponente de Hurst resultaron mayores a 0.50, por lo tanto, se acepta la hipótesis general para las 17 aduanas.

La incógnita planteada desde el resumen "¿las aduanas marítimas despachan operaciones que pueden depender de costumbres y hábitos al través del tiempo?" obtendría como respuesta que, de acuerdo a las mediciones fractales que afirman la presencia de memoria o invarianza en escala, se puede decir que el comercio comparte patrones, también llamados hábitos o costumbres, que pueden tener explicación desde distintos enfoques, por ejemplo, provocados por ciertas facilidades o eficiencia aduanera; sin embargo, estos últimos dos atributos son especulativos, fuera del alcance de este trabajo que, por ahora, solo aporta con afirmar la presencia de patrones repetitivos en escalas de tiempo distintas.

Desde un enfoque de fiscalización, la representación del grado de fractalidad podría establecerse como herramienta indicadora permanente de la Administración General de Aduanas o de la Administración General de Auditoría de Comercio Exterior, a fin de verificar si las repeticiones o costumbres en el volumen de operaciones de aduanas pudieran estar relacionadas con alguna tipología de subvaluación de precios o relajación de la verificación aduanera, que haga atractivo despachar por ciertas aduanas determinadas mercancías.

Desde una óptica hacia la mejora de la gestión, el grado de fractalidad podría significar un indicador del nivel de operaciones y reemplazamientos de elementos humanos e infraestructura, pues se sabría que grandes volúmenes despachados podrían volver a presentarse en el fututo o, por el contrario, que menores volúmenes comerciales en el pasado vuelvan a ocurrir en el futuro.

Otro enfoque desde el cual la fractalidad puede aplicarse es en las políticas públicas y, específicamente la fiscal, ya que, de encontrar recurrencia o memoria en aduanas establecidas en estados del país en lo particular, serviría de respaldo para la solicitud de mayores recursos públicos locales y para fortalecer la urbanización circundante y las condiciones en general.

Referencias

Calvet, L.E. & Fisher, A.J. (2013). Extreme Risk and Fractal Regularity in Finance. *Contemporary Mathematics, 601*, 65-94. https://doi.org/10.1090/conm/601/11933

Congreso de la Unión (2020). *Ley Aduanera*. México: Congreso de la Unión. http://www.diputados.gob.mx/LeyesBiblio/pdf/12_010720.pdf

De Spinadel, V.W. (2003). Geometría fractal y geometría euclidiana. *Revista Educación y Pedagogía, 15*(35), 83-91. https://revistas.udea.edu.co/index.php/revistaeyp/article/download/5945/5355

Debnath, L. (2006). A brief historical introduction to fractals and fractal geometry. *International Journal of Mathematical Education in Science and Technology, 37*(1), 29-50. https://doi.org/10.1080/00207390500186206

Gomory, R. (2010). Benoît Mandelbrot (1924-2010). *Nature, 468*(7322), 378. https://doi.org/10.1038/468378a

Hernández, N., & Avilán, N. (2016). Estimación del exponente de Hurst y la dimensión fractal del petróleo: caso WTI. *Ingeciencia, 1*(2), 25-31. http://editorial.ucentral.edu.co/ojs_uc/index.php/Ingeciencia/article/view/307/274

Hurst, H.E. (1951). Long-term storage capacity of reservoirs. *Transactions of the American Social Civil Engineering, 116*(1), 770-808.

Instituto Nacional de Acceso a la Información (11 de julio de 2020). *Portal Nacional de Transparencia*. https://consultapublicamx.inai.org.mx/vut-web/faces/view/consultaPublica.xhtml#tarjetaInformativa

Iturriaga, R., & Jovanovich, C. (2012). Los fractales y el diseño en las construcciones. *TRIM: Tordesillas, revista de investigación multidisciplinar, 5*, 5-19. https://dialnet.unirioja.es/descarga/articulo/4761055.pdf

Karpiarz, M., Fronczak, P., & Fronczak, A. (2014). International trade network: Fractal properties and globalization puzzle. *Physical Review Letters, 113*(24), 248701. https://doi.org/10.1103/physrevlett.113.248701

Kristoufek, L., & Vosvrda, M. (2013). Measuring capital market efficiency: Global and local correlations structure. *Physica A: Statistical Mechanics and its Applications, 392*(1), 184-193. https://arxiv.org/pdf/1208.1298.pdf

Kristoufek, L., & Vosvrda, M. (2014). Measuring capital market efficiency: long-term memory, fractal dimension and approximate entropy. *The European Physical Journal B, 87*, 1-14. https://doi.org/10.1140/epjb/e2014-50113-6

Lagunas, S., Aguilar, G., & Rodríguez, J.J. (2014). Análisis del comportamiento estadístico y aproximación fractal en la recaudación del impuesto sobre nóminas y asimilados en el estado de Quintana Roo. *Contaduría y Administración 59*(4), 71-86. https://dialnet.unirioja.es/servlet/articulo?codigo=4837488

Luengas, D., Ardila, E., & Moreno, J.F. (2010). Metodología e interpretación del coeficiente de Hurst. *Revista ODEON, 5*, 265-290. https://revistas.uexternado.edu.co/index.php/odeon/article/view/2872

Mandelbrot, B. (1975). *Les objets fractals: forme, hasard et dimension*. Paris: Flammarion.

Mandelbrot. B. (1982). *The Fractal Geometry of Nature*. Paris: Times Books.

Mandelbrot, B. B. (2005). The inescapable need for fractal tools in finance. *Annals of Finance, 1*(2), 193-195. https://doi.org/10.1007/s10436-004-0008-1

Martín-Vide, J., Prohom, M., Bohigas, M., Peña Rabadán, J.C., Esteban, P., & Montserrat, D. (2001). Índices de irregularidad temporal y dimensión fractal de la precipitación anual en España. En Pérez, A.J., López, E. y Tamayo, J. (eds.): El tiempo del clima. Valencia: Asociación Española de Climatología, pp. 157-166.

Modesto-Iregui, M., Guillot, G., & Donato, J.C. (2002). Dimensión fractal y relación área superficial/volumen de algas del fitoplancton de lagos colombianos. *Caldasia, 24*(1), 121-134. https://revistas.unal.edu.co/index.php/cal/article/download/39437/41328%3A%3A.pdf

Mosteanu, N.R. (2019). Intelligent tool to prevent economic crisis - fractals. A possible solution to assess the management of financial risk. *Quality, 20*(172), 13-17.

O'Connell, P.K., Koutsoyiannis, D., Lins, H.F., Markonis, Y., Montanari, A., & Cohn, T. (2015). The scientific legacy of Harold Edwin Hurst (1880-1978). *Hydrological Sciences Journal, 61*(9), 1571-1590. https://doi.org/10.1080/02626667.2015.11

Peitgen, H.O. (2010). Benoît B. Mandelbrot (1924-2010). *Science, 330*(6006), 193-196. https://doi.org/10.1126/science.1199471

Plazas, N.P., Ávila, M., & Moncada, G. (2014). Estimación del exponente de Hurst y dimensión fractal para el análisis de series de tiempo de absorbancia uv-vis. *Ciencia e Ingeniería Neogranadina, 24*(2), 133-143. https://dialnet.unirioja.es/descarga/articulo/5065696.pdf

Rodríguez, J., Prieto, S., Ortiz, L., Wiesner, C., Díaz, M., & Correa, C. (2006). Descripción matemática con dimensiones fractales de células normales y con anormalidades citológicas de cuello uterino. *Revista Ciencias de la Salud, 4*(2), 58-63. https://revistas.urosario.edu.co/index.php/revsalud/article/view/568

Rodríguez, R. (2014). El coeficiente de Hurst y el parámetro α-estable para el análisis de series financieras aplicación al mercado cambiario mexicano. *Contaduría y Administración, 59*(1), 149-173. https://doi.org/10.1016/S0186-1042(14)71247-1

Rubiano, G.N. (1997). Fractales: la huella del caos. *Lecturas matemáticas, 18*(1), 53-69. http://scm.org.co/archivos/revista/Articulos/16.pdf

Secretaría de Hacienda y Crédito Público (11 de julio de 2020). SAT - Portal de Servicios de Aduanas. Estadísticas de Comercio Exterior: http://omawww.sat.gob.mx/aduanasPortal/Paginas/index.html#!/

Servicio de Administración Tributaria (11 de julio de 2020a). Estructura Orgánica. https://www.gob.mx/sat

Servicio de Administración Tributaria (11 de julio de 2020b). Informe Tributario y de Gestión. Cuarto Trimestre 2019: http://omawww.sat.gob.mx/gobmxtransparencia/Paginas/documentos/itg/ITG_4o_Trim2019.pdf

Servicio de Administración Tributaria. (11 de julio de 2020c). Sitio del SAT - ¿Qué hacemos? https://www.gob.mx/sat/que-hacemos

Suárez-Domínguez, E.J., Betancourt-Mar, J.A., Llanos-Pérez, J.A., Nieto-Villar, J.M., Palacio-Pérez, A., & Izquierdo-Kulich, E. (2013). Dimensión fractal de asfaltenos en capa delgada en presencia de un estabilizante. *Revista Cubana de química, 25*(3), 311-317.

Sutcliffe, J., Hurst, S., Awadallah, A., Brown, E., & Hamed, K. (2016). Harold Edwin Hurst: The Nile and Egypt, past and future. *Hydrological Sciences Journal, 61*(9), 1557-1570. https://doi.org/10.1080/02626667.2015.1019508

Anexo: Datos de operaciones por aduana y estimados del exponente de Hurts

Imagen 1. Data y resultados: Aduana de Acapulco, Guerrero.

```
  [1] 16 14 36 14 22 30 30 30 25 38 22 21 18 24 30 22 19 17 14 15 17 15  8 12  6 17
 [27] 12 12 10 13  3 16 14 17 15 12  6 11 17  8 14 15 13  8  9 10 15 10  9  7 14 14
 [53]  9  4  6  7  5  9 10 13  8 14 17 11 18 16  6 10  3  7 12 10 10 11 10 11  9 10
 [79] 17 16  9  8  6 10  9  5  4  8  7  4  6  7  8  7  3  4  3  8  4  1
> hurstexp(b)
Simple R/S Hurst estimation:         0.7375867
```

Fuente: Elaboración propia con datos del SAT, mediante RStudio.

Imagen 2. Data y resultados: Aduana de Ciudad del Carmen, Campeche.

```
  [1] 132 110 160 146 154 194 102 125 106 148 127 136 124 143 127 101 243 230 139
 [20] 106 181  98  91 100 142  86 107 145  97 270 153  98 177 135  94 128 116 106
 [39] 861 145  71 106 109 110  67 286  83  65  31  36  84 165 110 103  74  76  92
 [58]  46  76  28  24 274  83  35  32  52  32  37  42  32  62 204  25 123  36 524
 [77]  34  38  28  86  22  43  40  31  42  38  70  67  78  76  47  57  39  45  28
 [96]  51  22  92  37  59
> hurstexp(c)
Simple R/S Hurst estimation:         0.6365705
```

Fuente: Elaboración propia con datos del SAT, mediante RStudio.

Imagen 3. Data y resultados: Aduana de Coatzacoalcos, Veracruz.

```
  [1]  842  919 1071 1128 1162  905  658  938  735  908  761  690  911  793  896
 [16]  968 1118  845 1199 1292 1304  875  761  828  877  898 1152 1483 1446 1302
 [31] 1072  923  912  836  932  951 1012  820 1035 1056 1105 1269 1147  997  844
 [46] 1006  952  799  772 1112 1099 1355 1174  796  866  668  756  802  845 1208
 [61] 1128 1041 1219 1050  975 1077 1101  905  951  761 1025  865  808  818 1119
 [76] 1015  730  902  750  840  966  625  697  821  865  869 1030  878  881  936
 [91]  850  704  808  688  745  820  899  843  894 1036
> hurstexp(d)
Simple R/S Hurst estimation:         0.6650473
```

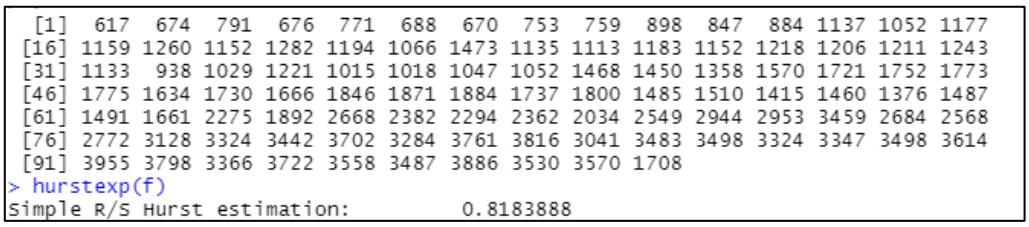
Fuente: Elaboración propia con datos del SAT, mediante RStudio.

Imagen 4. Data y resultados: Ensenada, Baja California.

```
  [1]  3190  3424  3673  4195  4477  3846  3563  3653  3782  4859  4378  3503  3405
 [14]  3401  3745  4354  4527  3799  4135  4182  4353  4957  4564  3888  3882  3403
 [27]  4186  4385  5070  4855  6537  5780  5804  5632  5130  5329  5646  5748  7361
 [40]  8690  8710  7030  6674  6592  7602  7129  6304  6223  6108  5470  6630  6712
 [53]  7184  7198  6986  7534  8478  8309  7855  7221  7546  6830  8240  7856  8738
 [66]  8497  8110  9942 10282  9553 10004  7662  8734  8548  9176  8522 10127  9972
 [79]  9665 11214 11778 11153 11190  9077 10320 10212  9453 10508 12683 11401 13565
 [92] 14875 13338 14157 12401 10972 13317 11901  9864  9783
> hurstexp(e)
Simple R/S Hurst estimation:         0.8033045
```

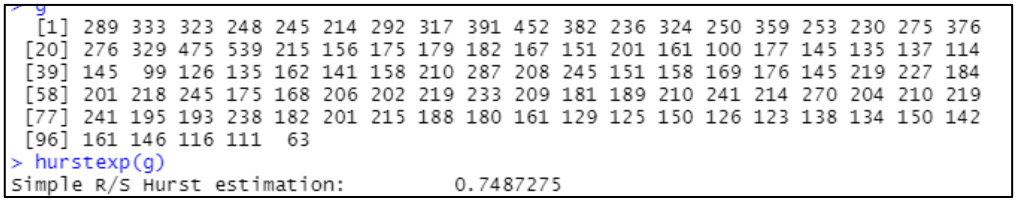
Fuente: Elaboración propia con datos del SAT, mediante RStudio.

Imagen 5. Data y resultados: Guaymas, Sonora.



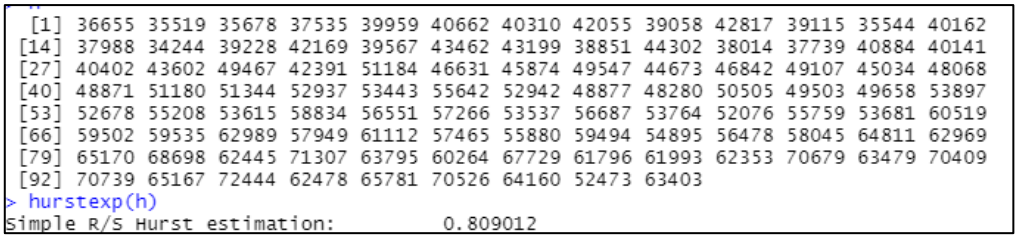
Fuente: Elaboración propia con datos del SAT, mediante RStudio.

Imagen 6. Data y resultados: La Paz, Baja California Sur.



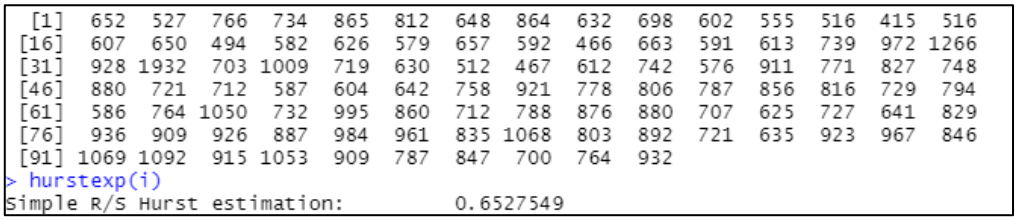
Fuente: Elaboración propia con datos del SAT, mediante RStudio.

Imagen 7. Data y resultados: Manzanillo, Colima.



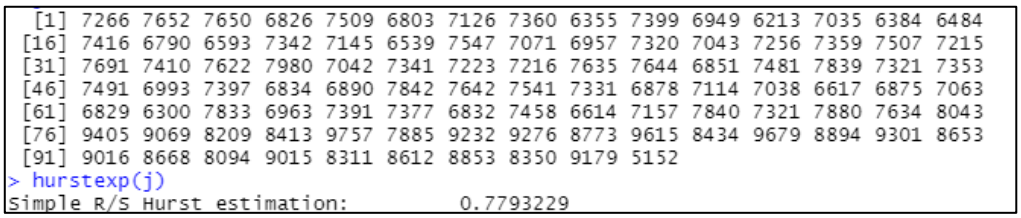
Fuente: Elaboración propia con datos del SAT, mediante RStudio.

Imagen 8. Data y resultados: Mazatlán, Sinaloa.



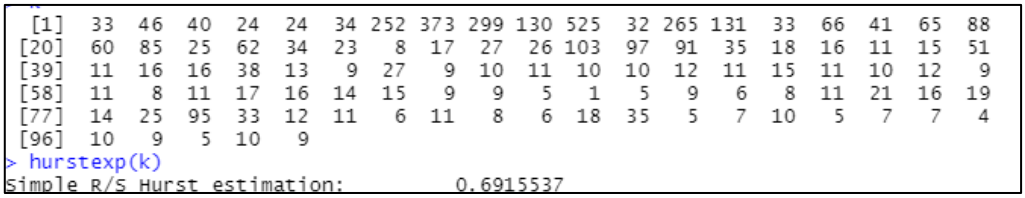
Fuente: Elaboración propia con datos del SAT, mediante RStudio.

Imagen 9. Data y resultados: Progreso, Yucatán.



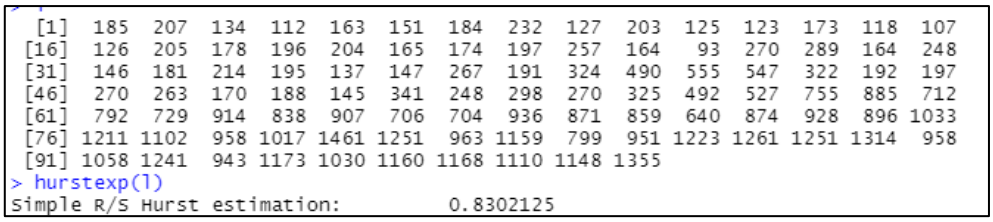
Fuente: Elaboración propia con datos del SAT, mediante RStudio.

Imagen 10. Data y resultados: Salina Cruz, Oaxaca.



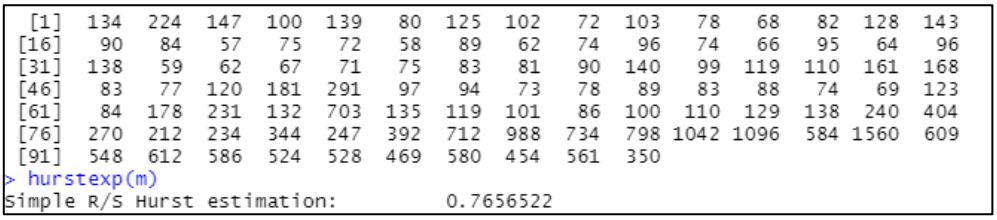
Fuente: Elaboración propia con datos del SAT, mediante RStudio.

Imagen 11. Data y resultados: Tampico, Tamaulipas.



Fuente: Elaboración propia con datos del SAT, mediante RStudio.

Imagen 12. Data y resultados: Tuxpan, Veracruz.



Fuente: Elaboración propia con datos del SAT, mediante RStudio.

Imagen 13. Data y resultados: Veracruz, Veracruz.

```
  [1] 27184 27532 32256 29118 31637 29567 31817 34454 30735 33687 30696 26011 30833
 [14] 27655 30894 35117 33335 29241 32855 31787 27364 30923 27540 25497 27848 26549
 [27] 31851 33360 34196 31785 34221 34096 33340 35255 31623 33032 31476 27983 33520
 [40] 33320 34804 33998 36710 34388 34500 34648 32943 33249 30048 29986 34350 35504
 [53] 34720 36376 34173 36911 35336 33519 35119 33453 34094 28797 40998 35267 39787
 [66] 39092 38076 40820 38833 36650 38162 34534 33627 35151 35130 39267 41992 38578
 [79] 40554 43924 38600 41115 37553 34894 38766 31872 39953 39004 41975 37366 40352
 [92] 41290 36778 38409 35785 34598 36322 30764 38117 33260
> hurstexp(n)
Simple R/S Hurst estimation:         0.7663968
```

Fuente: Elaboración propia con datos del SAT, mediante RStudio.

Imagen 14. Data y resultados: Lázaro Cárdenas, Michoacán.

```
  [1] 13227 13462 12823 13534 15545 14032 14817 15962 15413 16660 14945 12301 14133
 [14] 14515 11537 13497 14834 15807 15876 16138 17311 18445 14342 13880 15609 13727
 [27] 13562 15416 17203 15951 17912 20173 20827 20913 17392 17297 17535 15641 17648
 [40] 18443 19053 20533 21072 20766 24059 23219 18845 17311 16847 18424 16659 18173
 [53] 17916 19910 17620 24490 24497 23809 19427 20003 19595 18078 17707 17903 20308
 [66] 20627 19504 24123 25048 25593 22170 20199 22032 19447 19196 19335 21867 21012
 [79] 24329 26263 25463 30538 24952 21946 24070 21864 22175 20228 22977 20234 23691
 [92] 25410 26260 27220 21182 20903 23671 20861 15290 19302
> hurstexp(o)
Simple R/S Hurst estimation:         0.7776927
```

Fuente: Elaboración propia con datos del SAT, mediante RStudio.

Imagen 15. Data y resultados: Cancún, Quintana Roo.

```
  [1] 3176 3333 3527 2975 2940 2650 3050 2870 2682 3131 3074 2861 2983 3002 3073
 [16] 3386 3039 2841 3271 3180 2857 3501 3650 3307 3037 2925 3007 3287 3156 2932
 [31] 3039 2700 2561 2799 2615 3187 2582 2694 3194 2974 2825 2850 3048 2711 2970
 [46] 3193 3200 3678 3059 3245 3324 3161 3201 3206 3032 3113 3093 2998 3285 3868
 [61] 3038 2990 3498 3195 3339 3292 3173 3244 2987 3316 3484 3464 3385 3246 3384
 [76] 3588 3532 3518 3629 3764 3094 3973 3925 3771 3973 3809 3761 3600 3765 3546
 [91] 3861 3616 3496 4063 4029 4007 3709 3483 3013 1441
> hurstexp(p)
Simple R/S Hurst estimation:         0.744811
```

Fuente: Elaboración propia con datos del SAT, mediante RStudio.

Imagen 16. Data y resultados: Altamira, Tamaulipas.

```
  [1] 13244 13066 14942 13983 16043 14402 15235 17176 15255 15888 15243 13635 15597
 [14] 13545 15003 16662 16893 15756 16698 17356 15053 17253 15823 14030 15712 13888
 [27] 16840 17402 18184 16976 18556 18009 17460 18600 16200 18364 17120 15918 19069
 [40] 18886 18977 19984 21099 19705 19086 19940 17012 17525 16856 16656 18538 20145
 [53] 19282 19585 19832 21057 19904 19585 20287 20062 19624 17419 22570 20530 22963
 [66] 22274 21893 24125 21663 23732 22004 21381 21618 20234 21883 23306 24516 23148
 [79] 24104 26095 23559 24551 22472 21830 23596 21215 24043 24343 26819 22729 25291
 [92] 26724 22853 26124 23066 22204 23943 21040 24817 20193
> hurstexp(q)
Simple R/S Hurst estimation:         0.8046396
```

Fuente: Elaboración propia con datos del SAT, mediante RStudio.

Imagen 17. Data y resultados: Dos Bocas, Tabasco.

```
  [1] 188  49 371  91  36  75  93  84 114 108  29  27  25 198 159  70  17  61  42
 [20] 745 236  89 153 142  81 253 111  36  95 135  38  99  77  25  38  37  72  63
 [39]  35  47 120 265  67  52 239 160 123 121  59  87 132  63 365 147  45 112 203
 [58]  45  45  99  39 107 212 760  65 102  62  76 541 158  55 125  40  37  38  40
 [77]  55 102 140  59  71  69  59  39  54 121  61  53  74  59 105  94 114 194  52
 [96]  54 141  30  90 176
> hurstexp(r)
Simple R/S Hurst estimation:         0.5307018
```

Fuente: Elaboración propia con datos del SAT, mediante RStudio.

REVISTA DE MÉTODOS CUANTITATIVOS PARA LA ECONOMÍA Y LA EMPRESA (33). Páginas 242-263.
Junio de 2022. ISSN: 1886-516X. D.L: SE-2927-06.
www.upo.es/revistas/index.php/RevMetCuant/article/view/5414

Modelado de Ecuaciones Estructurales en el campo de las Ciencias de la Administración

SORIANO, JOSÉ LUIS
Consejo Nacional de Ciencia y Tecnología (México)
Correo electrónico: jl77soriano@gmail.com

MEJÍA-TREJO, JUAN
Universidad de Guadalajara (México)
Correo electrónico: jmejia@cucea.udg.mx

RESUMEN

El presente artículo analiza el papel de los modelos de ecuaciones estructurales en el campo de las ciencias de la administración. Se presenta el enfoque por el que se incorpora el uso de la técnica al campo de la administración y, adicionalmente, se genera una comparativa entre los diferentes algoritmos y paquetes estadísticos disponibles para la aplicación de la técnica. Encontrando en código cerrado: LISREL, EQS, AMOS, SmartPLS, Mplus, CALIS (en SAS), SEPATH (en Statistica), RAMONA (en Systat), SEM (Stata), Matlab, Semopy (en Python). Y en código abierto: Scilab, Julia, R: lavaan, sem, lava, OpenMx y Strum. Identificando las tendencias actuales y enfoques futuros que enrolan la técnica de análisis multivariante dentro de las ciencias de la administración. Encontrando softwares sugeridos para el área de las ciencias de la administración, así como tendencias de mezcla en la técnica, como el uso de las redes neuronales que se comienza a incorporar como alternativa o complemento a la técnica SEM.

Palabras clave: Ecuaciones Estructurales (SEM), administración, algoritmos, software.
Clasificación JEL: C87; C50; M00.
MSC2010: 91C15; 90-04; 68-00; 15-04.

Artículo recibido el 10 de noviembre de 2020 y aceptado el 17 de agosto de 2021.

Structural Equations Modeling in the Management Sciences

ABSTRACT

This article analyzes the role of structural equation modeling in the field of management science. The approach by which the use of the technique is incorporated into the field of management. Additionally, a comparison is generated between the different algorithms and statistical packages available for the application of the technique. Finding in closed source, LISREL, EQS, AMOS, SmartPLS, Mplus, CALIS (in SAS), SEPATH (in Statistica), RAMONA (in Systat), SEM (Stata), Matlab, Semopy (in Python). And in open source: Scilab, Julia, R: lavaan, sem, lava, OpenMx, Strum. Identifying current trends and future approaches that embody the multivariate analysis technique within the management sciences. Finding suggested software for the area of management sciences, as well as mixing trends in the technique, such as the use of neural networks that is beginning to be incorporated as an alternative or complement to the SEM technique.

Keywords: Structural Equations Models (SEM), management, algorithms, software.
JEL classification: C87; C50; M00.
MSC2010: 91C15; 90-04; 68-00; 15-04.

1. Introducción

Es importante aclarar que el presente documento tiene como finalidad analizar el uso de la técnica referente a los Modelos de Ecuaciones Estructurales (Structural Equations Models, SEM), en el campo de las ciencias administrativas y la pertinencia de cada software disponible, partiendo de las características propias que se requieren en el área de investigación. Por tal motivo, el presente documento no pretende ser un estudio técnico en referencia a la comparativa entre software. El análisis se enfoca en analizar la pertinencia de la técnica en el campo de las ciencias administrativas, el estado actual, futuro y los softwares más apropiados para los análisis dentro del área de estudio, de acuerdo a las características propias de los datos, del perfil del investigador, del tipo de pruebas y compatibilidad, entre otros.

Los Modelos de Ecuaciones Estructurales (Structural Equations Models, SEM) es una técnica flexible que permiten modelar relaciones complejas entre variables que se observan (variables observables) y variables que no se manifiestan (variables latentes). Se puede pensar en una combinación de modelos de análisis factorial (llamados modelos de medición) y modelos de regresión (llamados modelos estructurales). En Igolkina y Meshcheryakov (2020) se menciona que los modelos de ecuaciones estructurales (SEM) son una técnica estadística multivariante para estimar relaciones complejas entre variables observadas y latentes. El enfoque detrás de la estructura es que las variables manifiestas generalmente se miden con análisis factorial y modelos de error pueden dar cuenta del error de medición, por lo que la verdadera relación estructural entre las variables sin error de medición, se modela mediante modelos de regresión entre variables latentes.

En el campo de las ciencias sociales, los modelos suelen denominarse como "causales". Sin embargo, hay un matiz importante en la terminología, ya que estos modelos no establecen causalidad, sino que solo prueban las relaciones propuestas entre variables en estudio (Rosseel, 2012). A pesar de que la gran parte del desarrollo de SEM ha tenido lugar en el ámbito social y la ciencia del comportamiento, la investigación y las revisiones SEM se han publicado en las principales revistas estadísticas y capítulos de libros (Yuan & Bentler, 1998; Steiger, 2007; Marcoulides, 2018).

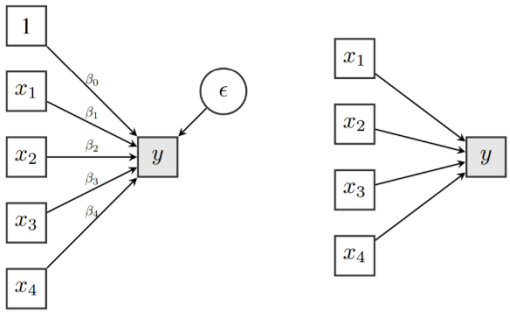
2.Tecnica estadística SEM

En términos generales, SEM es una técnica de modelado estadístico multivariante que permite probar una hipótesis (modelo sobre los datos), postulando un modelo generador de datos y este modelo puede ajustarse o no a los datos.

La característica principal de la técnica, destaca que puede contener variables latentes, que pueden ser "constructos" hipotéticos (por ejemplo, depresión) y medido por un conjunto de indicadores. Las variables latentes pueden ser efectos aleatorios (por ejemplo, intersecciones aleatorias). Los SEM permiten efectos indirectos (mediación) y efectos de ambas vías.

En la Figura 1 se presenta la lógica en la que se basa la técnica SEM. Se muestra una regresión lineal múltiple, donde cuatro variables independientes, más la suma del intercepto (1), generan un efecto en la variable dependiente, donde además se agrega el error.

Figura 1. Regresión lineal múltiple.

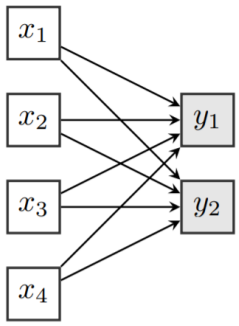


$$y_i = \beta_0 + \beta_1 x_{i1} + \beta_2 x_{i2} + \beta_3 x_{i3} + \beta_4 x_{i4} + \epsilon_i \quad (i = 1, 2, \ldots, n)$$

Fuente: Elaboración propia a partir de Rosseel (2012).

En la Figura 2 se plantea una regresión lineal múltiple donde las variables independientes generan un efecto en ambas variables observadas (Y_1, Y_2).

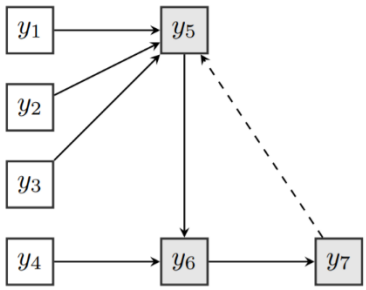
Figura 2. Efecto múltiple de variables independientes.



Fuente: Elaboración propia a partir de Rosseel (2012).

En la Figura 3 se muestra el efecto indirecto de la variable Y_5 en la variable Y_7 por medio del paso de una variable mediadora como la Y_6.

Figura 3. Efecto indirecto.

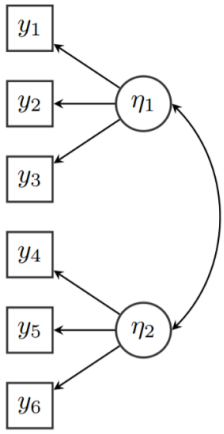


Fuente: Elaboración propia a partir de Rosseel (2012).

Todas las variables son observadas (manifiestas), se permite el efecto indirecto (por ejemplo, de Y_5, a través de Y_6 en Y_7), además se permiten los ciclos (por ejemplo, Y_7 podría influir en Y_5).

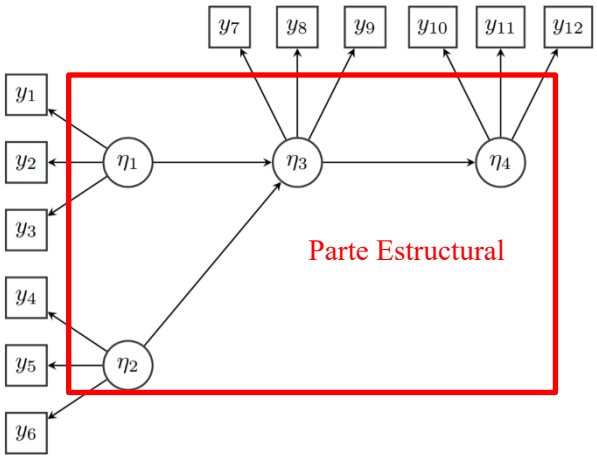
En la Figura 4 se observa una relación entre variables latentes, por medio de análisis factorial confirmatorio (CFA), donde se incorporan modelos de medición, que representa la relación entre una o más variables latentes y sus indicadores (observados). En la Figura 5 se presentan modelos de medida, más la parte estructural (dentro del recuadro rojo) y un análisis de ruta con variables latentes.

Figura 4. Variable latente e indicadores.



Fuente: Elaboración propia a partir de Rosseel (2012).

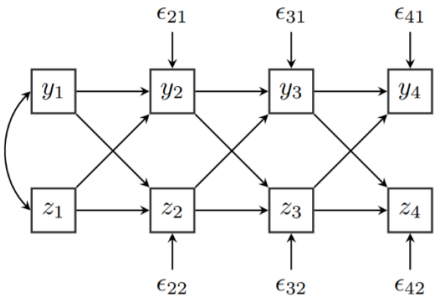
Figura 5. Parte estructural.



Fuente: Elaboración propia a partir de Rosseel (2012).

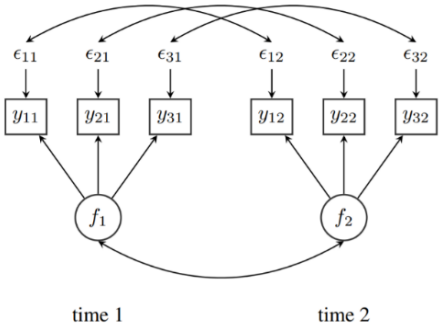
En la Figura 6 se plantea un análisis por medio de modelos de paneles (variables observables) con efectos cruzados, permitiendo contestar preguntas relacionadas a cómo se desarrollan dos variables de forma independiente o como ejerce Y sobre Z y viceversa. Por su parte, en la Figura 7 se plantea una comparativa entre modelos por medio del factor tiempo.

Figura 6. Modelo de paneles con efectos cruzados.



Fuente: Elaboración propia a partir de Rosseel (2012).

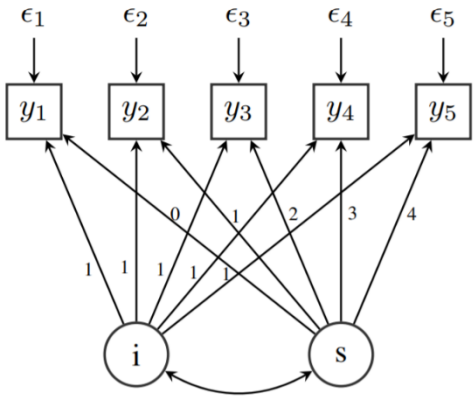
Figura 7. Dos puntos en el tiempo.



Fuente: Elaboración propia a partir de Rosseel (2012).

Para finalizar, en la Figura 8 se presenta un planteamiento que permite contestar preguntas relacionadas al conocer el efecto direcciones de una variable sobre otra.

Figura 8. Análisis de ruta con variables latentes

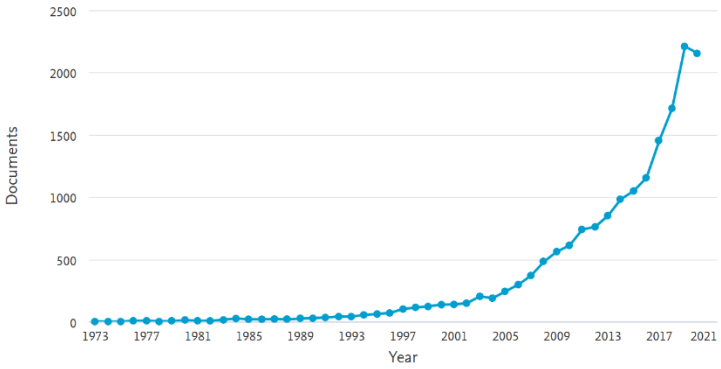


Fuente: Elaboración propia a partir de Rosseel (2012).

3. Uso actual de la técnica

Una vez que se ha mencionado en que consiste la técnica SEM y los principales planteamientos en la aplicación de la técnica, se hace un recuento de las áreas que utilizan la técnica para sus análisis. Conforme a lo mencionado por Rosseel (2017), el SEM es ampliamente utilizado en las ciencias sociales y es cada vez más "descubierto" en las ciencias médicas, biología, neuroimagen, ecología, investigación de operaciones, entre otras disciplinas. La mayoría del software SEM también se utiliza para realizar análisis estándar, por ejemplo, una simple regresión; no obstante, se debe lidiar con datos faltantes, errores estándar robustos, diagnósticos y restricciones de igualdad.

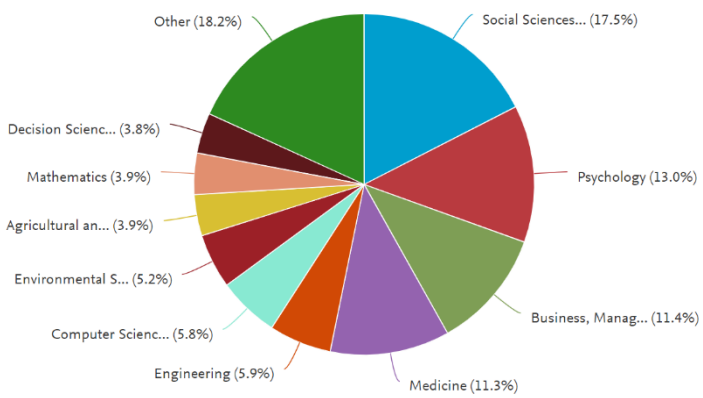
Figura 9. SEM como parte de la investigación.



Fuente: Scopus (2020).

Por medio de la plataforma “Scopus” se generó la búsqueda de todas las publicaciones disponibles donde se hace uso de la herramienta “Structural Equation Model”, generando como resultado lo presentado en la Figura 9, donde se muestra el creciente uso de la técnica a partir de los años 90´s. Se utilizó la plataforma Scopus debido a que la misma plataforma argumenta contar con la mayor base de datos bibliográfica de resúmenes y citas de artículos de revistas científicas.

Figura 10. Áreas de investigación.

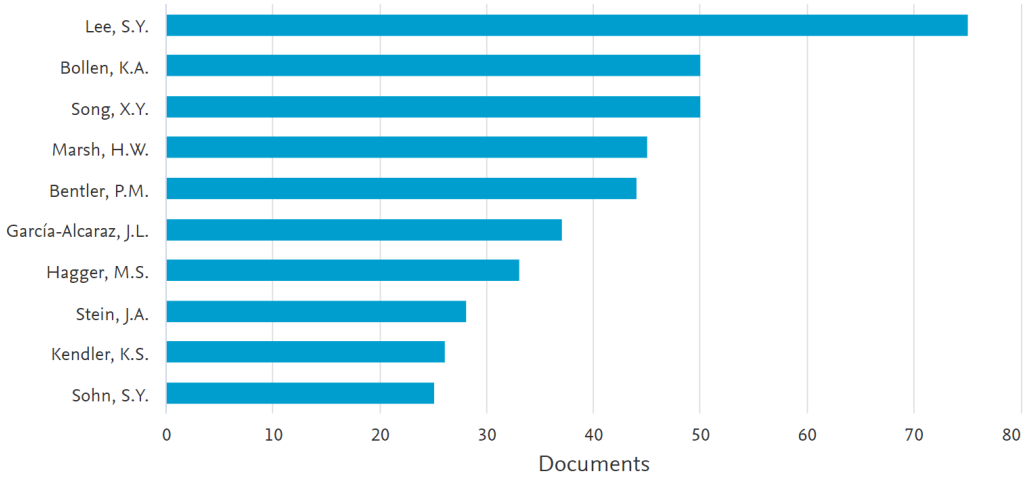


Fuente: Scopus (2020).

Por su parte en la Figura 10 se muestra el porcentaje de distribución del campo del conocimiento en el que se emplea la técnica. Destacando la participación de las ciencias sociales con un 17.5%, seguido de Psicología con el 13% y, en tercer lugar, con una participación similar, se encuentra el área de la administración junto al área de la medicina. En menor medida se utiliza en áreas como la ingeniería, ciencias computacionales, entre otros.

Por último, en la Figura 11 se muestran los autores con mayor producción científica relacionada al uso de la técnica SEM, destacando autores como Peter Bentler, creador del software EQS.

Figura 11. Producción científica relacionada al SEM.



Fuente: Scopus (2020).

Teniendo en cuenta los resultados obtenidos en la plataforma Scopus, se identifica que, dentro del área de las ciencias de la administración, el paquete estadístico que más se suele referenciar es el EQS, seguido de AMOS, Lavaan, Lisrel y SmartPLS.

4. Descripción de los Software

Una vez revisados los rubros más importantes donde se utiliza la técnica SEM, se presenta el contexto de los paquetes estadísticos que permiten el uso de la técnica. Los softwares para SEM se pueden dividir en código cerrado y código abierto. Dentro de los desarrollos iniciales se encuentra el paquete LISREL que surgió en los años 70 con Karl Joreskog; posteriormente en los años 80´s, nace el EQS con Peter Bentler; para la década de los 90´s surge AMOS por medio de James Arbuckle, seguido de Mplus en 1998 desarrollado por Bengt Muthen. Posteriormente surgen nuevos paquetes, como SmartPLS, CALIS (en SAS), SEPATH (en Statistica), RAMONA (en Systat), SEM (Stata), Matlab, Semopy (en Python) y en código abierto, Scilab, Julia y en paquetes en R: lavaan, sem, lava, OpenMx, Strum. En el presente apartado se describe de forma sintetizada los softwares disponibles con la herramienta SEM y posteriormente se presenta una tabla comparativa entre los diferentes paquetes y sus principales distinciones.

LISREL

LISREL es una aplicación de programa proporcionada por Windows para realizar el modelado de ecuaciones estructurales (SEM) y otro modelado de estructuras lineales relacionadas (por ejemplo, modelado de ecuaciones estructurales multinivel, modelado multinivel lineal y no lineal, etc.)

Conforme a lo mencionado por Jöreskog y Sörbom (2018) LISREL para Windows es útil para importar datos externos en varios formatos como SPSS, SAS, MS Excel, etc. como un archivo de sistema PRELIS (PSF). El software utiliza un archivo de gráficos con la extensión predeterminada llamada PTH para capturar el diagrama de ruta. También es útil para ajustar el modelo medido a los datos. Por ejemplo, supongamos que uno quiere usar LISREL mientras ajusta el modelo a los datos de los tutoriales de SPSS.

El paquete permite manejar modelos con error de medición, apoya al investigador en modelos no recursivos y se considera útil para resolver problemas de análisis multivariante (por ejemplo, MANOVA). Útil para trabajar en comparaciones de varios grupos (como desarrollar modelos separados para hombres, mujeres y pruebas de restricciones.

Una cualidad que es bastante común en el modelo LISREL es que los modelos ignoran las medias y consideran que todas las variables se centran en las medias de su grupo. Esto, a su vez, da como resultado que los modelos tengan medias cero. Esto se hace para reducir la complejidad asociada al análisis. Si se está trabajando en un modelo de varios grupos con la ayuda de LISREL, entonces dará el mismo resultado de ese proceso que se obtiene al ejecutar una regresión con variables ficticias en SPSS.

EQS

Conforme a Bentler (2006), el paquete EQS combina la sofisticación técnica con la facilidad de uso, EQS hace que el modelado de ecuaciones estructurales sea aún más fácil con Diagrammer, una herramienta de dibujo de modelos de EQS.

En términos generales EQS mantiene una interfaz amigable, con funciones de apuntar y hacer clic para un acceso rápido a cualquier prueba de EQS, sin necesidad de programar, como en Python o R. Asimismo, EQS prueba la gama completa de modelos de ecuaciones estructurales que incluyen regresión múltiple, análisis factorial confirmatorio, análisis de medias estructurado y comparaciones de poblaciones múltiples. EQS también incluye correlaciones poliseriales y policóricas para el tratamiento de datos categóricos, el estadístico chi-cuadrado escalado de Satorra-Bentler, mejoras en las opciones RETEST y WTEST, y la capacidad de importar matrices de peso. De acuerdo a Bentler (2006) el EQS sirve a miles de investigadores en psicología, educación, economía, investigación de mercado, sociología y otros campos que utilizan técnicas de modelado de ecuaciones estructurales.

AMOS

IBM SPSS Amos es un potente software de modelado de ecuaciones estructurales (SEM) que ayuda a respaldar las investigaciones y teorías al ampliar los métodos de análisis multivariante estándar, que incluyen regresión, análisis de factores, correlación y análisis de varianza. Hair et al. (2014) menciona la posibilidad de crear modelos de actitud y comportamiento que reflejen relaciones complejas con mayor precisión que con las técnicas de estadística multivariante estándar, utilizando una interfaz de usuario gráfica o programática intuitiva, facilitando la experiencia de usuario.

Smart PLS

Conforme a lo mencionado por Manley et al. (2020) SmartPLS permite generar un modelado de ruta de mínimos cuadrados parciales (PLS), Regresión de mínimos cuadrados ordinarios (OLS) basada en sumscores, PLS consistente (PLSc), PLS ponderado (WPLS), OLS ponderado (WOLS) y PLS consistente ponderado (WPLSc), Bootstrapping y el uso de opciones avanzadas de bootstrapping. Asimismo, permite análisis de mapas de importancia y rendimiento (IPMA), análisis multigrupo PLS (MGA) que analiza la diferencia y la importancia de las estimaciones del modelo de ruta PLS específicas del grupo, variables mediadoras y estimación de efectos indirectos en conjunto a sus pruebas de significación basadas en Bootstrap.

Aria (2020) menciona que, además de lo anterior, permite la estimación de los efectos de interacción y sus pruebas de significación basadas en bootstrapping, relaciones no lineales; estimación de efectos cuadráticos y sus pruebas de significación basadas en Bootstrap, análisis de tétrada confirmatorio (CTA): una técnica estadística que permite probar empíricamente la configuración del modelo de medición, segmentación de mezcla finita (FIMIX): un enfoque de clase latente que permite identificar y tratar la heterogeneidad no observada en los modelos de ruta, segmentación orientada a la predicción (POS): un enfoque para identificar grupos de datos, PLS Predict: una técnica para determinar la calidad predictiva del modelo de ruta PLS.

MPlus

Según Muthén y Muthén (2017), Mplus es un programa de modelado estadístico que proporciona a los investigadores una herramienta flexible para analizar sus datos. Mplus ofrece a los investigadores una amplia variedad de modelos, estimadores y algoritmos en un programa que tiene una interfaz fácil de usar y pantallas gráficas de datos y resultados de análisis. Mplus permite el análisis de datos transversales y longitudinales, datos de un solo nivel y multinivel, datos que provienen de diferentes poblaciones con heterogeneidad observada o no observada y datos que contienen valores faltantes. Se pueden realizar análisis para variables observadas que son continuas, censuradas, binarias, categóricas ordenadas (ordinales), categóricas no ordenadas (nominales), recuentos o combinaciones de estos tipos de variables. Además, Mplus cuenta con amplias capacidades para estudios de simulación Monte Carlo, donde los datos se pueden generar y analizar de acuerdo con cualquiera de los modelos incluidos en el programa.

CALIS (SAS)

En Yung (2010) se enfatiza que PROC CALIS parte del supuesto de que las variables aleatorias tienen una distribución normal aproximadamente multivariante. La no normalidad, especialmente la curtosis alta, puede producir estimaciones deficientes y errores estándar extremadamente incorrectos y pruebas de hipótesis, incluso en muestras grandes. En consecuencia, el supuesto de normalidad es mucho más importante que en modelos con variables exógenas no estocásticas. Por lo anterior, el paquete sugiere eliminar los valores atípicos y considerar transformaciones de variables no normales antes de usar PROC CALIS con máxima probabilidad (predeterminado) o estimación generalizada de mínimos cuadrados.

Alternativamente, hay varios enfoques disponibles para tratar el problema de la no normalidad. Si el número de observaciones es lo suficientemente grande, puede utilizar la distribución asintóticamente libre de Browne (ADF; Browne 1982) método de estimación. Sin embargo, no existe una directriz definida sobre el tamaño que debe tener una muestra.

SEPATH (Statistica)

Señalan Sotnikova-Meleshkina y Martynenko (2020) que el módulo incluye opciones de simulación que permite al investigador generar y guardar conjuntos de datos para modelos predefinidos, basados en distribuciones normales o sesgadas. Se pueden calcular estimaciones de Bootstrap, así como distribuciones para diversas estadísticas de diagnóstico, estimaciones de parámetros, etc., sobre los ensayos de Monte Carlo. Las principales aplicaciones del modelado de ecuaciones estructurales incluyen, modelado causal, o análisis de ruta, que hipotetiza relaciones causales entre variables y prueba los modelos causales con un sistema de ecuaciones lineales; los modelos causales pueden involucrar variables manifiestas, variables latentes o ambas, análisis factorial confirmatorio.

RAMONA (Systat)

Dentro del paquete RAMONA en Systat, Stapleton y Leite (2005) afirman que se pueden generar cuadros y gráficos en 2D y 3D. Las interfaces de comandos y menús de SYSTAT están interconectadas, lo que otorga a los usuarios la posibilidad de elegir el método que mejor les funcione. Permitiendo

analizar, matrices de covarianza o correlación, pruebas como MWL (máxima probabilidad de Wishart), GLS (mínimos cuadrados generalizados), OLS (mínimos cuadrados ordinarios), ADFG (estimación libre de distribución asintóticamente sesgada, Gramian) y ADFU (imparcial).

SEM (STATA)

Conforme a lo mencionado por Driver et al. (2017), el paquete SEM estima los efectos de mediación, analiza la relación entre un concepto latente no observado como la depresión y las variables observadas que miden la depresión, modela un sistema con muchas variables endógenas y errores correlacionados, o ajusta un modelo con relaciones complejas entre variables latentes y observadas. Ajusta modelos con resultados continuos, binarios, de conteo, ordinales, fraccionales y de supervivencia. Incluso ajuste de modelos multinivel con grupos de observaciones correlacionadas. Asimismo, permite evaluar el ajuste del modelo, calcular los efectos indirectos y totales, ajustar los modelos dibujando un diagrama de ruta o utilizando la sintaxis de comandos sencilla.

Matlab

Por su parte Williams (2020), menciona que MATLAB permite ver cómo funcionan diferentes algoritmos con los datos, permite realizar iteraciones hasta obtener los resultados deseados y, después, generar automáticamente un programa en el mismo MATLAB para reproducir o automatizar el trabajo. Asimismo, el paquete cuenta con la capacidad de escalación para la ejecución en clusters, GPUs y nubes únicamente con cambios menores en el código. No es necesario volver a escribir el código ni aprender programación para Big Data y técnicas de manejo de datos fuera de memoria; lo anterior se considera pertinente para análisis complejos, que requieran algoritmos específicos.

Semopy (Python)

Semopy significa “optimización de modelos de ecuaciones estructurales en Python” y está diseñado para ayudar a los estadísticos que emplean técnicas SEM a manejar su investigación de una manera más enfocada al código Python. El paquete busca llenar un nicho de herramientas SEM en Python que parece estar vacío, ya que de acuerdo a Igolkina y Meshcheryakov (2020) se encuentran opiniones negativas de los investigadores respecto al uso de software comercial o de lenguajes de computadora más antiguos. El paquete Semopy se proporciona de forma totalmente gratuita y todos pueden hacer contribuciones al proyecto.

Los desarrolladores de Semopy prometen estar atentos a los errores y considerar implementar nuevas funciones a pedido. El paquete se publicó en "Modelado de ecuaciones estructurales: una revista multidisciplinaria". Se demuestra que Semopy supera al popular paquete gratuito Lavaan en términos de rendimiento, estabilidad del proceso de optimización y precisión de estimaciones de parámetros. Desde entonces, Semopy ha enfrentado cambios positivos drásticos y ha desarrollado nuevas características, por lo tanto, un lector puede interpretar los resultados presentados en el artículo como un mínimo esperado.

Scilab

Scilab está disponible bajo la licencia GPL, lo que significa que se tiene la libertad de utilizar el software para cualquier propósito, cambiar el software para adaptarlo a las necesidades del investigador. De acuerdo a Campbell et al. (2006) el estilo de codificación está definido para todos los lenguajes utilizados en Scilab C, C ++, Java, XML, Scilab, Makefiles, Checkstyle está disponible para Java en Eclipse. Cuando se pretende desarrollar una nueva funcionalidad, el código debe estar documentado (comentarios usando Javadoc, Doygen), cada modificación en el código Scilab es revisada y aceptada por un desarrollador.

Cada nueva funcionalidad solo se integra si tiene una prueba correspondiente y esta ejecución de prueba se ejecuta correctamente en todas las plataformas compatibles con Scilab. Asimismo, para cada

corrección de error, se escribe una prueba para garantizar su corrección adecuada y evitar cualquier regresión futura. Las herramientas de cobertura de código se utilizan para verificar la calidad de las pruebas. Cada confirmación en el repositorio de Scilab GIT lanza un proceso de integración continúa basada en Jenkins. La compilación diaria del binario Scilab a través de un proceso de compilación, ejecuta todas las pruebas unitarias y las pruebas de no regresión en todas las plataformas compatibles.

Julia

Un paquete de Julia "Lavaan.jl" se puede utilizar para el modelado de ecuaciones estructurales inspirado en el paquete R del mismo nombre. El objetivo del proyecto es desarrollar un paquete de software en Julia que realice el modelado de ecuaciones estructurales, es la opción disponible para usuarios del lenguaje Julia. El proyecto hace crecer la infraestructura de paquetes de Julia y la intención del desarrollador es atraer a más investigadores aplicados al lenguaje. De acuerdo al desarrollador, proporcionar herramientas de código abierto que superan en rendimiento a las alternativas de código cerrado beneficiosas para la ciencia.

Lo anterior puede servir como una oportunidad de aprendizaje para los miembros del grupo interesados en aprender más sobre las mejores prácticas en ingeniería de software. Se puede utilizar el paquete R existente llamado Lavaan como referencia y también como referencia para el rendimiento.

Lavaan

El paquete Lavaan está desarrollado para proporcionar a los usuarios, investigadores y profesores un paquete gratuito de código abierto, pero de calidad comercial para el modelado de variables latentes. Se puede utilizar Lavaan para estimar una gran variedad de modelos estadísticos multivariantes, incluido el análisis de ruta, el análisis factorial confirmatorio, el modelado de ecuaciones estructurales y los modelos de curvas de crecimiento.

Los modelos de ecuaciones (con variables observadas y latentes) utilizan el enfoque RAM para ajustar ecuaciones estructurales en modelos de variables observadas, se realiza mediante mínimos cuadrados de dos etapas. Por lo que el paquete cuenta con funciones para ajustar modelos de ecuaciones estructurales lineales generales (con variables observadas y latentes) utilizando el enfoque RAM, y para ajustar ecuaciones estructurales en modelos de variables observadas mediante mínimos cuadrados de dos etapas.

Lava

En Holst y Budtz-Jørgensen (2013) se menciona que Lava es un paquete que permite una implementación general de modelos de ecuaciones estructurales con variables latentes (MLE, 2SLS y estimadores de verosimilitud compuestos) con resultados continuos, censurados y ordinales. Modelos de mezcla de variables latentes y modelos de variables latentes no lineales (Holst y Budtz-Joergensen, 2019). El paquete también proporciona métodos para la exploración de gráficos, separación de criterio de puerta trasera, simulación de modelos generales de variables latentes no lineales y estimación de funciones de influencia para una amplia gama de modelos estadísticos.

Open Mx

Conforme a lo mencionado por los desarrolladores Boker et al. (2021), OpenMx es un software gratuito y de código abierto para usar con R que permite la estimación de una amplia variedad de modelos estadísticos multivariantes avanzados. OpenMx consiste en una biblioteca de funciones y optimizadores que le permiten definir de forma rápida y flexible un modelo SEM y estimar parámetros dados los datos observados. OpenMx se ejecuta en MacOS, Windows y la mayoría de las variedades de Linux/GNU. Esto significa que los mismos scripts que escribe en Windows se ejecutarán en MacOS o Linux.

OpenMx puede ser utilizado por aquellos que piensan en términos de modelos de ruta o por aquellos que prefieren especificar modelos en términos de álgebra matricial. En OpenMx se pueden especificar y modificar modelos y conjuntos de datos complicados mediante el lenguaje R.

Strum

De acuerdo a Song et al. (2015), el paquete R Strum es una herramienta de software SEM adecuada para el análisis genético. Implementa un marco general para SEM dentro del contexto de datos genealógicos generales. Este contexto requiere consideraciones especializadas como correlaciones familiares y verificación. El paquete es una herramienta flexible capaz de modelar asociación genética, análisis de ligamiento, efectos poligénicos, ambiente compartido y verificación combinados con análisis factorial confirmatorio y SEM general. También proporciona una herramienta conveniente para la visualización de modelos e integra herramientas para simular datos de pedigrí. Las diversas características de este paquete se prueban mediante un estudio de simulación para evaluar el rendimiento, y los resultados muestran que strum es confiable y robusto en términos de precisión y cobertura de las estimaciones de parámetros.

5. Criterios comparativos

Una vez mencionados los paquetes disponibles para la aplicación de la técnica SEM, se presenta un cuadro comparativo, donde Segura et al. (2008), Gómez et al. (2010), Ríos y Idrobo (2017) designan criterios para evaluar distintos tipos de software, resaltando los más importantes, como la comunidad, información, compatibilidad, actualización, funcionalidad y facilidad de uso. En la Tabla 1 se presenta un cuadro comparativo con los criterios mencionados junto a dos columnas adicionales, de fortalezas y particularidades, con la finalidad de dar continuidad al trabajo de Narayanan (2012) donde se comparan ocho paquetes SEM.

El criterio de comunidad se relaciona con el número de usuarios, foros y discusiones relacionadas al paquete; por otra parte, en el criterio de información se toma en cuenta la información disponible por parte del proveedor, para el uso del paquete; al mismo tiempo la claridad en que se trasmite la información también se considera.

El criterio de compatibilidad, hace referencia a las versiones disponibles para los diferentes sistemas operativos y, al mismo tiempo, la posibilidad de enlazar el paquete SEM con paquetes estadísticos, gráficos o sistemas de composición de texto como Latex, que permite a los investigadores, una mayor versatilidad relacionada al software.

El rubro relacionado a la actualización, se enfoca en la revisión de las actualizaciones que cada software genera a lo largo del tiempo y cómo dichas actualizaciones generan mejoras e incluso resuelven problemas previos del propio código, permitiendo actualizar los algoritmos de acuerdo a los nuevos planteamientos, descubrimientos o discusiones académicas.

La funcionalidad, tomando en cuenta el objetivo del software, es el criterio fundamental, ya que se relaciona con la disponibilidad y capacidad del paquete para correr diferentes técnicas y pruebas, que permiten plantear un SEM de forma correcta, por lo que en el criterio relacionado a la funcionalidad, se hace referencia a las opciones disponibles a utilizar en el paquete, por lo que es notable, que paquetes de código abierto, cuenten con una mayor capacidad funcional, debido a que, en el caso de requerir aplicar pruebas experimentales, se puede crear el código específico para dicha prueba, acción que se complica en paquetes de código cerrado. Un ejemplo es Lavaan, donde el ecosistema se relaciona con paquetes adicionales que permiten incrementar la funcionalidad, como el paquete Lavaan (Ed Merkle, Yves Rosseel), Bayesian SEM (actualmente usando jags) con una interfaz de Lavaan, lavaan.survey (Oberski, 2016) que permite ponderaciones de la encuesta, agrupamiento, estratos y correcciones de muestreo finito en SEM.

No obstante, como ejemplo, dentro del paquete Lavaan, por mencionar uno de código abierto, dispone de más códigos que incrementan la funcionalidad, como el Ónix (Von Oertzen, Brandmaier & Tsang, 2015), la interfaz gráfica interactiva para SEM (escrito en Java), SemTools y colección de funciones útiles para SEMsimsem, simulación de modelos SEM, SemPlot, visualizaciones de modelos SEM, EffectLiteR, usando SEM para estimar efectos promedio y condicionales, Nlsem, estimación de modelos de ecuaciones estructurales con efectos no lineales y distribuciones no normales subyacentes, así como Bmem, Coefficientalpha, Eqs2lavaan, FSRM, Influence.SEM, MIIVsem, ProfileR, RAMpath, Regsem, RMediation, RSA, Rsem, Stremo, Faoutlier, Dame, Lavaan.shiny, Matrixpls, MBESS, NlsyLinks, Nonnest2, PiecewiseSEM, Pscore, Psytabs, Qgraph, Sesem, Sirt, TAM y Userfriendlyscience que son paquetes complementarios que incrementan la funcionalidad.

De acuerdo a Merkle et al. (2020), la metodología y el software están destinados a proporcionar a los usuarios un medio general de estimar los SEM bayesianos, clásico y novedoso, de una manera sencilla. Los usuarios pueden estimar versiones bayesianas de SEM clásicos con sintaxis de Lavaan, pueden obtener medidas de ajuste bayesiano de última generación asociados con los modelos, y pueden exportar el código JAGS para modificar los SEM como se desee. Por otra parte, el lenguaje de programación de Julia se desarrolló desde 2012 y es más rápido que Python ya que éste es un lenguaje interpretado en comparación del lenguaje compilado y de acuerdo al impulsor del lenguaje, recopila lo mejor de Python y R; no obstante, se considera más complicada la forma de programación, aunque es relativo, ya que se considera complicado por la novedad de ser un lenguaje proveniente del 2012.

Las desventajas relacionadas al lenguaje de Julia se enfocan en las escasas librerías provenientes del periodo corto que transcurre desde su creación; no obstante, se considera una opción disponible para investigaciones exploratorias donde se requiera una capacidad y velocidad mayor, como pudiera ser la integración de Big Data y los modelos de ecuaciones estructurales. El paquete disponible que se relaciona al modelado de ecuaciones estructurales es llamado “MixedModels” que se encuentra disponible de forma gratuita desde el 2016; no obstante, se ha actualizado constantemente, hasta llegar a 38 versiones (actualizaciones) llegando hasta la versión actual v2.3.0.

El paquete define modelos lineales mixtos (LinearMixedModel) y modelos lineales mixtos generalizados (GeneralizedLinearMixedModel). Los usuarios pueden usar la abstracción para la API del modelo estadístico para construir, ajustar y consultar los modelos ajustados. Un modelo de efectos mixtos es un modelo estadístico para una variable de respuesta en función de una o más covariables. Para una covariable categórica, los coeficientes asociados con los niveles de la covariable a veces se denominan efectos, como en "el efecto de usar el Tratamiento 1 frente al placebo". Si los niveles potenciales de la covariable son fijos y reproducibles, por ejemplo, los niveles de sexo pueden ser "F" y "M", se modelan con parámetros de efectos fijos. Si los niveles constituyen una muestra de una población, por ejemplo, el sujeto o el Ítem en una observación particular, se modelan como efectos aleatorios.

Un modelo de efectos mixtos contiene términos tanto de efectos fijos como de efectos aleatorios. Con efectos fijos, son los coeficientes en sí mismos o las combinaciones de coeficientes los que son de interés. En el caso de los efectos aleatorios, lo que interesa es la variabilidad de los efectos sobre la población. De acuerdo a Jacobucci et al. (2016) en este paquete, los efectos aleatorios se modelan como muestras independientes de una distribución gaussiana multivariante de la forma $\boldsymbol{\mathcal{B}} \sim \boldsymbol{\mathcal{N}}\ (0, \boldsymbol{\Sigma})$. Para el vector de respuesta, $\mathbf{y}$, solo la media de la distribución condicional, $\boldsymbol{\mathcal{Y}} \mid \boldsymbol{\mathcal{B}} = \mathbf{b}$ depende de $\mathbf{b}$ y lo hace mediante una expresión de predictor lineal, $\boldsymbol{\eta} = \mathbf{X}\boldsymbol{\beta} + \mathbf{Z}\mathbf{b}$, donde $\boldsymbol{\beta}$ es el vector de coeficientes de efectos fijos y $\mathbf{X}$ y $\mathbf{Z}$ son matrices modelo de los tamaños apropiados. En un modelo lineal mixto, la media condicional, $\boldsymbol{\mu} = \mathbb{E}\ [\boldsymbol{\mathcal{Y}} \mid \boldsymbol{\mathcal{B}} = \mathbf{b}]$, es el predictor lineal, $\boldsymbol{\eta}$, y la distribución condicional es gaussiana multivariante, $(\boldsymbol{\mathcal{Y}} \mid \boldsymbol{\mathcal{B}} = \mathbf{b}) \sim \boldsymbol{\mathcal{N}}\ (\boldsymbol{\mu}, \sigma^2\mathbf{I})$. Por lo que, en el paquete de Julia, la media condicional, $\mathbb{E}\ [\boldsymbol{\mathcal{Y}} \mid \boldsymbol{\mathcal{B}} = \mathbf{b}]$, está relacionada con el predictor lineal mediante una función de enlace. Las formas de distribución típicas son Bernoulli para datos binarios o Poisson para datos de recuento.

Asimismo, el criterio de facilidad de uso se encamina en el análisis relacionado a la experiencia técnica del usuario, donde es evidente que paquetes como el AMOS o SmartPLS, visualmente se

manejan con mayor facilidad en comparación con paquetes relacionados a R, Python o Julia; asimismo la lógica y la intuición de la plataforma, son considerados en el mismo apartado.

Por último, se añade una columna extraordinaria llamada Sugerido para análisis en Ciencias Administrativas (SCA), con la finalidad de sugerir el uso del software para los análisis relacionados al campo de las ciencias de la administración, donde el criterio principal se relaciona con la factibilidad de manipular los datos que se suelen utilizar en el área, por ejemplo, escalas que son muy comunes dentro de las ciencias de la administración e incluso adaptabilidad con Big Data. Un criterio secundario pero importante es el perfil del investigador, derivado de la factibilidad de programar en softwares de código abierto, ya que por lo regular el perfil de los investigadores en el área, no suele ser de programador o cuestiones relacionadas, por lo que se da prioridad a softwares que cuenten con versatilidad respecto al número de pruebas estadísticas de las que disponen, sin necesidad de programar, o incluso herramientas que permiten mejorar la interfaz para que el investigador se concentre en el análisis estadístico.

No obstante, si el investigador cuenta con un perfil enfocado al de programación o está altamente familiarizado con la lógica de los distintos softwares, no tiene relevancia el criterio. Se puede resumir que en el caso de contar con experiencia en la técnica y si se busca explorar nuevas incorporaciones relacionadas a pruebas o técnicas, los softwares de código abierto son los recomendados; por el contrario, para los iniciadores en el uso de la técnica, los softwares sugeridos pueden ser una opción, todo depende de experiencias previas, es decir cualquier paquete de R puede ser complicado de usar; no obstante si ya se cuenta con previo uso de R, no se tendría problema el uso de Lavaan. La casilla perteneciente a cada software se marca con la letra "S" indicando que se sugiere el software. Se enfatiza que la recomendación no es excluyente, ya que como se menciona posteriormente, todos los softwares permiten la aplicación de la técnica obteniendo resultados no diferenciados.

Tabla 1. Cuadro comparativo entre paquetes SEM para la aplicación en las Ciencias de la Administración.

Nombre del Paquete	Comunidad	Información	Compatibilidad	Actualización	Funcionalidad	Facilidad de uso	SCA	Fortalezas	Particularidades
LISREL	9	8	7	8	9	10		Software de modelado lineal general para SEM, modelado multinivel, modelado lineal generalizado y modelado recursivo	Estimación de residuos observacionales en análisis factorial y modelos de ecuaciones estructurales
EQS	9	8	8	9	9	10	S	El modelado estructural se simplifica al ofrecer diferentes formas de crear modelos; más capacidad de análisis exploratorio	Capacidad única para manejar variables no normales en su totalidad y situaciones de datos faltantes Capacidad para calcular el multiplicador de Lagrange multivariante y pruebas Wald. Estimaciones de confiabilidad para el modelo de medición
AMOS	10	10	8	10	9	10	S	Formato de salida bien organizado y de acceso rápido, Excelente interfaz gráfica	Estimación bayesiana de forma limitada, Varias opciones para bootstrapping Búsqueda de especificaciones en ausencia de teoría

Mplus	9	9	10	10	10	10		Marco de modelado integrado para manejar continuo, variables categóricas, observadas y latentes; incorporación de últimos métodos de manejo de datos faltantes, se puede integrar con R	Incorporación de variables auxiliares para el manejo de datos faltantes. Fácil implementación de efectos de interacción entre latentes variables. Capacidad única que incluye Bayesian SEM, SEM exploratorio, manejo de recuento y valores censurados, y datos faltantes en el mecanismo de no falta al azar (NMAR)
SmartPLS	10	10	9	10	9	10	S	Avance gráfico y extensión de algoritmos	Permite análisis de mapas de importancia y rendimiento (IPMA), análisis multigrupo PLS (MGA) que analiza la diferencia y la importancia de las estimaciones del modelo de ruta PLS específicas del grupo
CALIS (SAS)	9	10	9	10	9	10		Integrar otras capacidades de análisis disponibles en SAS, (por ejemplo, MI para el análisis de datos faltantes)	Flexibilidad de la especificación del modelo en muchos formatos diferentes, como COSAN, FACTOR, LINEQS, MSTRUCT y RAM
SEPATH (Statistica)	7	9	8	10	10	10		Plantillas prediseñadas, herramientas de inteligencia artificial	Permite guardar conjuntos de datos para modelos predefinidos, basados en distribuciones normales o sesgadas
RAMONA (Systat)	7	8	8	10	10	10		Flexibilidad en desarrollo visual	Se pueden generar cuadros y gráficos en 2D y 3D, ADFG (estimación libre de distribución asintóticamente sesgada, Gramian) y ADFU (imparcial)
SEM (Stata)	9	9	9	9	9	9		Ajuste modelos con resultados continuos, binarios, de conteo, ordinales, fraccionales y de supervivencia	Calcular los efectos indirectos y totales, ajustar los modelos dibujando un diagrama de ruta o utilizando la sintaxis de comandos sencilla
Matlab	6	7	10	9	9	9		Escalabilidad de análisis para la ejecución en clusters, GPUs y nubes únicamente con cambios menores en el código	No es necesario volver a escribir el código ni aprender programación para Big Data y técnicas de manejo de datos fuera de memoria, lo anterior se considera pertinente para análisis complejos, que requieran algoritmos específicos
Semopy (Python)	7	8	10	8	10	8		Se puede ajustar a las líneas de desarrollo (es decir, bioinformáticas)	Reciente incorporación para usuarios de lenguaje Python
Scilab	6	7	9	7	8	7		Se ajusta con los paquetes adicionales a Scilab. Cada confirmación en el repositorio de Scilab GIT lanza un proceso de integración continúa basada en Jenkins	El estilo de codificación está definido para todos los lenguajes utilizados en Scilab C, C ++, Java, XML, Scilab, Makefiles, Checkstyle está disponible para Java en Eclipse

Julia	8	8	10	8	8	8		Una oportunidad de aprendizaje para los miembros del grupo interesados en aprender más sobre las mejores prácticas en ingeniería de software	Reciente incorporación para usuarios de lenguaje Julia
Lavaan (R)	10	9	9	9	10	9	S	Entorno de código abierto con características completas de R que incluyen capacidades gráficas, Scripting compacto incluso para modelos complicados	Capacidad para calcular dos probabilidades diferentes para la estimación de ML (normal y Wishart), Capacidad para "imitar" los resultados de Mplus y EQS
SEM (R)	8	9	9	9	9	8		Entorno de código abierto con características completas de R, incluidas capacidades gráficas	Incorporación de mínimos cuadrados de dos etapas para modelado econométrico; capacidad para crear un diagrama de ruta a través de Graphviz
Lava (R)	8	9	9	9	9	8		El paquete proporciona métodos para la exploración de gráficos, separación de criterio de puerta trasera, simulación de modelos generales de variables latentes no lineales y estimación de funciones de influencia para una amplia gama de modelos estadísticos	MLE, 2SLS y estimadores de verosimilitud compuestos) con resultados continuos, censurados y ordinales
Open Mx (R)	9	9	9	9	9	8		Entorno de código abierto con características completas de R que incluyen capacidades gráficas Se integra con otros paquetes de R para permitir el procesamiento multinúcleo y procesamiento distribuido a gran escala	Capacidad para optimizar funciones objetivas especificadas por el usuario. Definición de modelo jerárquico para vincular una serie de modelos en un árbol. Estructura capacidad para utilizar el programa como optimizador y calculadora de álgebra matricial.
Strum (R)	7	8	9	9	9	8		Presentamos el nuevo paquete R Strum para satisfacer la necesidad de una herramienta de software SEM adecuada para el análisis genético	Reciente incorporación para usuarios de lenguaje Strum

Fuente: Elaboración propia.

Todos los paquetes producen estimaciones que están bastante cerca entre sí en precisión. La principal diferencia entre los paquetes viene en el usuario, interfaz y disponibilidad de diferentes opciones; mientras que paquetes como AMOS, LISREL y EQS se pueden utilizar en modo de programación y gráficos interfaz, el resto de los paquetes solo se pueden utilizar en un entorno de programación (R, Python, Julia).

Cada paquete tiene sus propias fortalezas y características especiales, como que se muestra en la Tabla 1. Los usuarios de SEM pueden elegir un paquete sobre otro basado en las características especiales necesarias para una particular aplicación o el entorno informático que ya están familiarizados. Mientras que los paquetes R son atractivos para los usuarios que prefieren entornos de

código abierto, los rápidos desarrollos también están en paquetes de software comerciales. Un enfoque unificado podría aprovechar de la fuerza de cada entorno y los paquetes de software SEM tienen cierto margen de mejora.

Como se menciona en Narayanan (2012), se identifican áreas de oportunidad que involucran ayuda con la identificación del modelo, especificación y comparación de modelos incorrectos. Una primera área es cuando no se identifica un modelo, muchos de estos programas ofrecen menor ayuda al usuario para resolver el problema. Mientras la identificación puede considerarse un requisito previo y fundamental para estimación en el ajuste de modelos de ecuaciones estructurales, los investigadores con pocas variables medidas pueden comprometer la fiabilidad del modelo.

Una segunda área de oportunidad es la especificación del modelo incorrecto, en ausencia de una teoría rigurosa, es probable que suceda con más frecuencia. Los programas SEM podrían implementar algunos de los algoritmos de modelado gráfico como se describe en Haughton, Kamis y Scholten (2006) al identificar modelos posiblemente equivalentes que sean consistentes con la estructura de covarianza de los datos.

La tercera área de oportunidad es la comparación de modelos, ya que, en muchos paquetes comerciales, no hay una manera fácil de almacenar los resultados de varios modelos junto con sus estadísticas de ajuste para la comparación. Esto es útil para análisis exploratorios y para la comparación de modelos anidados, el usuario tiene que hacer programación para calcular la diferencia en los valores de chi-cuadrado y grados de libertad. La misma idea también sería útil para comparar modelos en análisis de un solo grupo; la función Anova en R también es útil a este respecto.

El paquete MplusAutomation en R es útil para el pos-procesamiento de la extracción de resultados de Mplus y tabulación de parámetros e índices de ajuste. El paquete puede leer la salida de varios directorios, extraer información resumida y mostrarlos en forma de tabla concisa. Un ejemplo para una serie de modelos anidados que prueban la invariancia de medición. Los paquetes de R y EQS permiten llamar, ejecutar, y leer los resultados entre ellos para su posterior procesamiento, Mair, Wu y Bentler (2010) mostraron cómo combinar lo mejor de ambos mundos, mediante el estudio del efecto de las violaciones de la normalidad sobre las distribuciones de las estadísticas de prueba y el análisis de potencia para un parámetro estructural. Estos ejemplos muestran cómo combinar las potentes capacidades computacionales y gráficas de R con la implementación única en algunos de los paquetes de software SEM.

Lee (2015) menciona que en los paquetes como Mplus, LISREL, SAS PROC CALIS, y R package Lavaan se pueden automatizar los modelos para generar comparaciones con el cambio de datos por medio del Método de Monte Carlo; no obstante, se comenta que en el paquete R, por medio del paquete “simsem” se reducen los pasos y se simplifican los resultados.

En resumen, se identifican ciertas diferencias entre software (presentadas en la Tabla 1); no bastante, en términos de consistencia estadística, se puede establecer que los resultados de las pruebas determinaron estimaciones consistentes.

Sin embargo, existen diferencias en las capacidades analíticas de los paquetes (por ejemplo, estimadores disponibles). Se puede encontrar una comparación detallada, por ejemplo, en el "Handbook of Structural Equation Modeling" de Hoyle (2012); para la publicación, es más importante seguir los estándares de informes.

6. El futuro de la técnica SEM dentro de las ciencias de la administración

Mediante el uso de la plataforma Scopus, se observó la tendencia positiva respecto al uso de la herramienta SEM en investigaciones relacionadas al campo de la administración; no obstante, se

identificaron estudios donde se hace uso de la técnica SEM en combinación con técnicas alternativas como redes neuronales y m-learning.

En Liébana-Cabanillas et al. (2018) se hace el uso de la técnica SEM con la técnica relacionada de redes neuronales, que también se le puede denominar Deep-learning para predecir los determinantes de la aceptación del pago móvil. Asimismo, en Alshurideh (2020) se menciona que a pesar de la gran cantidad de estudios de aceptación del m-learning, pocos han abordado la importancia de examinar el uso real de los sistemas de m-learning desde la perspectiva de la influencia social, la confirmación de expectativas y la satisfacción. Además, la mayor parte de la literatura sobre adopción de tecnología anterior tiende a utilizar la técnica de modelado de ecuaciones estructurales (SEM) para analizar los modelos estructurales. Para abordar estas limitaciones, el estudio que presenta Alshurideh (2020) amplía el modelo de aceptación de tecnología (TAM) con el modelo de confirmación de expectativas (ECM) y la influencia social para predecir el uso real de los sistemas de aprendizaje móvil. Se empleó un enfoque comparativo que utiliza el modelado de ecuaciones estructurales de mínimos cuadrados parciales (PLS-SEM) y algoritmos de aprendizaje automático para probar el modelo propuesto con datos recopilados de 448 estudiantes.

Los resultados revelaron que ambas técnicas han apoyado con éxito todas las relaciones hipotéticas del modelo de investigación. Más interesante aún, el clasificador por medio de m-learning ha funcionado mejor que los otros clasificadores en la predicción de la variable dependiente en la mayoría de los casos, por lo que se cree que el empleo de un enfoque analítico comparativo agrega una contribución significativa a la literatura de Sistemas de Información (SI) en general, y al dominio del m-learning en específico.

7. Conclusiones

En el presente documento se analizó el papel del modelado de ecuaciones estructurales en el campo de las ciencias de la administración, resaltando que, en general, dentro de las ciencias sociales, la técnica se encuentra en constante crecimiento a partir de los años 80´s. Lo anterior proveniente de los desarrollos tecnológicos, ya sea por la capacidad de hardware y software que se ha incrementado a lo largo del tiempo, permitiendo incorporar análisis más complejos con relación al número de variables.

Asimismo, se presentó el enfoque por el que se incorpora el uso de la técnica al campo de la administración, destacando a los autores más relevantes en el planteamiento del SEM y, adicionalmente, se generó una comparativa entre los diferentes algoritmos y paquetes estadísticos disponibles para la aplicación de la técnica. Encontrando en código cerrado: LISREL, EQS, AMOS, SmartPLS, Mplus, CALIS (en SAS), SEPATH (en Statistica), RAMONA en (Systat), SEM (Stata), Matlab, Semopy (en Python) y en código abierto, Scilab, Julia y en paquetes en R: lavaan, sem, lava, OpenMx, Strum, obteniendo como resultado, que todos los paquetes producen estimaciones que están bastante cerca entre sí en precisión.

La principal diferencia entre los paquetes viene en el usuario, interfaz y disponibilidad de diferentes opciones; mientras que paquetes como AMOS, LISREL y EQS se pueden utilizar en modo de programación y gráficos interfaz, el resto de los paquetes solo se pueden utilizar en un entorno de programación (R, Python, Julia).

Asimismo, se identificaron enfoques futuros que enrolan la técnica de análisis multivariante dentro de las ciencias de la administración. Una tendencia es la generación de métodos mixtos donde se incorpora la técnica SEM y a su vez, se confirma o se contrasta con técnicas relacionadas a inteligencia artificial, como m-learning o Deep-learning. Se espera que, con el avance de los estudios, se permita comparar de mejor forma las técnicas alternativas al SEM, con la finalidad obtener mejores explicaciones dentro de las ciencias sociales.

Otra tendencia en el futuro puede ser una mayor integración del software SEM, por ejemplo, en R, ajustar paquetes con entorno informático y estadístico. Dicha integración permitiría desarrollos metodológicos, que ayuden a colocar rápidamente la información en paquetes de software comerciales. Un enfoque unificado podría aprovechar de la fuerza de cada entorno.

De la misma forma se espera que se desarrollen paquetes que contengan la técnica SEM en lenguajes de programación poco convencionales, como Erlang, Scala, Rust y D Haskell, Dart, Go, F# o Perl, Elixir, Clojure, OCaml, Groovy, lo que permite establecer un manejo de los datos de formas diversas, que a su vez amplíen el universo de posibilidades relacionadas a la técnica.

Las ventajas de SEM se relacionan con la posibilidad de obtener un enfoque confirmatorio, que permite probar la teoría, además de obtener medidas de bondad de ajuste y generar un enfoque de modelado estadístico flexible. De acuerdo a Tarka (2018), el SEM puede manejar, datos faltantes (imputación múltiple), restricciones de igualdad, datos categóricos (binarios, ordinales, recuento), variables latentes discretas, continuas, datos agrupados (multinivel) y muchos otros enfoques resultan ser casos especiales (por ejemplo, lineales generalizados, como puede ser modelos mixtos.

Entre las desventajas de SEM se encuentra que la flexibilidad del modelado puede ser abrumadora, se requiere un software dedicado ya que no está disponible en paquetes estadísticos de entrada, como SPSS; asimismo "especificar" el modelo o la opción de entrada (usando software) puede ser un desafío.

Por último, los desafíos para SEM como campo estadístico, se concentran en mejorar la inferencia para muestras pequeñas, resolver el tema de los métodos robustos, ya que para valores atípicos no forman parte de la caja de herramientas estándar de SEM, mejorar los enfoques semiparamétricos y no paramétricos; asimismo, la estimación de "información completa" es computacionalmente a menudo demasiado pesada (la necesidad de integrar las variables latentes); finalmente, se requiere integrar de mejor forma la técnica SEM con las demás ramas estadísticas, como los modelos gráficos, inferencia causal y modelos mixtos.

Referencias

Aria, M. (2020). *PLS-SEM Toolbox, MATLAB Central File Exchange*. https://www.mathworks.com/matlabcentral/fileexchange/54147-pls-sem-toolbox.

Alshurideh, M., Al Kurdi, B., Salloum, S., Arpaci, I., & Al-Emran, M. (2020). Predicting the actual use of m-learning systems: a comparative approach using PLS-SEM and machine learning algorithms. *Interactive Learning Environments, 28*(4), 1-15.

Bentler, M. (2006). *EQS Structural Equations Program Manual.* Encino, CA: Multivariante Software, Inc.

Boker, S., Neale, M., Maes, H., Wilde, M., Timothy, M., Estabrook, B., Paras, B. Ross, J. Michael, G., Hunter, D., Karch, H., Pritikin, J., Zahery, M., Kirkpatrick, R., (2021). *OpenMx User Guide*. https://vipbg.vcu.edu/vipbg/OpenMx2/docs//OpenMx/latest/OpenMxUserGuide.pdf.

Campbell, S., Chancelier, J., & Nikoukhah, R. (2006). *Modeling and Simulation in SCILAB*. Springer: New York.

Driver, C., Oud, J., & Voelkle, M. (2017). Continuous time structural equation modeling with R package ctsem. *Journal of Statistical Software, 77*(5), 24-56.

Gómez, O., López, R., & Bacalla, S. (2010). Criterios de selección de metodologías de desarrollo de software. *Industrial Data, 13*(2), 70-74.

Hair, J., Gabriel, M., & Patel, V. (2014). AMOS covariance-based structural equation modeling (CB-SEM): Guidelines on its application as a marketing research tool. *Brazilian Journal of Marketing*, *13*(2), 44-55.

Haughton, D., Kamis, A., & Scholten, P. (2006). A review of three directed acyclic graphs software packages: MIM, Tetrad, and WinMine. *The American Statistician, 60*(3), 272-286.

Hoyle, R. (2012). Handbook of structural equation modeling. New York: Guilford press.

Holst, K., & Budtz-Jørgensen, E. (2013). Linear latent variable models: the lava-package. *Computational Statistics*, *28*(4), 1385-1452.

Holst, K., & Budtz-Jørgensen, E. (2019). A two-stage estimation procedure for non-linear structural equation models. *Biostatistics, 21*(4), 676-691.

Igolkina, A, & Meshcheryakov, G. (2020). Semopy: A Python Package for Structural Equation Modeling. *Structural Equation Modeling: A Multidisciplinary Journal, 27*(6), 952-963, https://doi.org/10.1080/10705511.2019.1704289

Jacobucci, R., Grimm, K., & McArdle, J. (2016). Regularized structural equation modeling. *Structural Equation Modeling: A Multidisciplinary Journal, 23*(4), 555-566.

Jöreskog, K., & Sörbom, D. (2018). *LISREL 10 for Windows* [Computer software]. Skokie, IL: Scientific Software International, Inc.

Lee, S. (2015). Implementing a simulation study using multiple software packages for structural equation modeling. *SAGE Open, 5*(3), 1-15. https://doi.org/10.1177/2158244015591823.

Liébana-Cabanillas, F., Marinkovic, V., de Luna, I., & Kalinic, Z. (2018). Predicting the determinants of mobile payment acceptance: A hybrid SEM-neural network approach. *Technological Forecasting and Social Change, 129*, 117-130.

Mair, P., Wu, E., & Bentler, P. (2010). EQS goes R: Simulations for SEM using the package REQS. *Structural Equation Modeling: A Multidisciplinary Journal, 17*(2), 333-349.

Manley, S., Hair, J., Williams, R., & McDowell, W. (2020). Essential new PLS-SEM analysis methods for your entrepreneurship analytical toolbox. *International Entrepreneurship and Management Journal, 16*(2), 1-21.

Marcoulides, G., & Falk, C. (2018). Model specification searches in structural equation modeling with R. *Structural Equation Modeling: A Multidisciplinary Journal, 25*(3), 484-491.

Merkle, E., Fitzsimmons, E., Uanhoro, J., & Goodrich, B. (2020). *Efficient Bayesian Structural Equation Modeling in Stan*. https://arxiv.org/abs/2008.07733.

Muthén, B., & Muthén, L. (2017). *Mplus, Handbook of Item Response Theory Chapman and Hall/CRC*. New York: Routledge.

Narayanan, A. (2012): A Review of Eight Software Packages for Structural Equation Modeling. *The American Statistician, 66(*2), 129-138.

Oberski, D. (2016). Mixture models: Latent profile and latent class analysis. *In Modern statistical methods for HCI*, Springer, Cham, 275-287.

Ríos, M., & Idrobo, S. (2017). Análisis comparativo de software matemático para la formación de competencias de aprendizaje en cálculo diferencial. *Plumilla educativa, 19*(1), 98-113.

Rosseel, Y. (2012). Lavaan: an R package for structural equation modeling. *Journal of Statistical Software, 48*(2), 1-36.

Segura, A., Vidal, C., & Prieto, M. (2008). Evaluación de la Calidad del Software para el Aprendizaje. In *X Simposio Internacional de Informática Educativa SIIE*, Salamanca, 59-64.

Song, Y., Stein, C., & Morris, N. (2015). Strum: an R package for structural modeling of latent variables for general pedigrees. *BMC Genomic Data*, 16(35), 1-13. https://doi.org/10.1186/s12863-015-0190-3

Sotnikova-Meleshkina, Z., & Martynenko, O. (2020). A multivariate method of evaluating the effectiveness of optimizing the daily routine of schoolchildren. *Reports of Vinnytsia National Medical University, 24*(4), 659-664.

Stapleton, L., & Leite, W. (2005). Teacher's corner: A review of syllabi for a sample of structural equation modeling courses. *Structural Equation Modeling: A Multidisciplinary Journal, 12*(4), 642-664.

Steiger, J. (2007). Understanding the limitations of global fit assessment in structural equation modeling. *Personality and Individual differences, 42*(5), 893-898.

Tarka, P. (2018). An overview of structural equation modeling: its beginnings, historical development, usefulness and controversies in the social sciences. *Quality & Quantity, 52(*1), 313-354.

Von Oertzen, T., Brandmaier, A., & Tsang, S. (2015). Structural equation modeling with Ωnyx. *Structural Equation Modeling: A Multidisciplinary Journal, 22*(1), 148-161.

Williams, N. (2020). *Toolbox for Structural Equation Modelling (SEM),* MATLAB Central File Exchange. https://www.mathworks.com/matlabcentral/fileexchange/60013-toolbox-for-structural-equation-modelling-sem.

Yuan, K., & Bentler, P. (1998). Normal theory based test statistics in structural equation modelling, *British Journal of Mathematical and Statistical Psychology, 51*(2), 289-309.

Yung, Y. (2010). Introduction to structural equation modeling using the CALIS Procedure in SAS/STAT® software, Computer technology workshop presented at the Joint Statistical Meeting on August 4, 2010, Vancouver, Canada. https://support.sas.com/rnd/app/stat/papers/JSM2010_Yung.pdf

REVISTA DE MÉTODOS CUANTITATIVOS PARA LA ECONOMÍA Y LA EMPRESA (33). Páginas 264-284.
Junio de 2022. ISSN: 1886-516X. D.L: SE-2927-06.
www.upo.es/revistas/index.php/RevMetCuant/article/view/5939

Un estudio de la competitividad exportadora de los principales productos mineros peruanos (2010-2019)

ESCALANTE YAULILAHUA, DANTON ARTURO
Universidad Continental (Perú)*
Correo electrónico: 72020699@continental.edu.pe

JERI HUANACO, YON CLEVER*
Correo electrónico: 77428669@continental.edu.pe

APOLINARIO TORRES, ROSSEL MELSER*
Correo electrónico: 48529905@continental.edu.pe

ROQUE DURAND, RONALDO ROBERTO*
Correo electrónico: 76370147@continental.edu.pe

VENEGAS RODRÍGUEZ, PEDRO BERNABÉ*
Correo electrónico: pvenegas@continental.edu.pe

RESUMEN

La exportación de minerales contribuye en gran proporción a la economía peruana, permitiéndole el desarrollo de varios sectores. El objetivo de esta investigación es identificar el comportamiento de los cinco principales productos mineros de exportación peruana y comparar los resultados con el de los principales países exportadores a fin de determinar su nivel de competitividad. Para ello, se utilizó una modificación a la matriz de la competitividad de la CEPAL hecha por Ramón y Lacayo el 2007, complementado con los indicadores RCA, ICTB y PCE; los datos fueron obtenidos para el periodo de 2010 a 2019 del ITC-Trade Map. Como resultados, se evidenció un alto grado de especialización y competitividad en todos los productos mineros peruanos evaluados. Cobre, la categoría con el más alto nivel de ventaja comparativa y la segunda con la mayor tasa de crecimiento, es el principal producto de exportación, aportando más de 25% de los ingresos por exportación. Oro, la segunda categoría con mayor tasa de competitividad, ha reducido dicho nivel en el periodo. Cinc y Cobre Refinado tienen altos niveles de especialización, aunque su competitividad está en decrecimiento. Finalmente, la categoría Hierro es la que menos competitividad evidenció, pero con una tasa de crecimiento superior a las demás.

Palabras clave: matriz de competitividad, participación sectorial, dinamismo, análisis de regresión, sector minero.
Clasificación JEL: F10; F14; L7.
MSC2010: 03F65; 00A06; 62J05.
Artículo recibido el 18 de mayo de 2021 y aceptado el 23 de agosto de 2021.

A study of the export competitiveness of the main Peruvian mining products (2010-2019)

ABSTRACT

The export of minerals contributes in great proportion to the Peruvian economy, allowing the development of different sectors. The main objective of this research is to identify the behavior of the five main Peruvian export mining products and compare the results with the main exporting countries in order to determine their level of competitiveness. For this, a modification to the CEPAL competitiveness matrix made by Ramón and Lacayo in 2007 was used, complemented with the RCA, ICTB and PCE indicators; the data were obtained for the period from 2010 to 2019 from ITC-Trade Map. As a result, a high degree of specialization and competitiveness was evidenced in all evaluated Peruvian mining products. Copper, the category with the highest level of comparative advantage and the second with the highest growth rate, is the main export product contributing more than 25% of export earnings. Gold, the second category with the highest competitiveness rate, has reduced this level in the period. Zinc and Refined Copper has high levels of specialization, however, its competitiveness is on the decline. Finally, the Iron category is the one that showed the least competitiveness, but with a higher growth rate than the others.

Keywords: competitiveness matrix, sector participation, dynamism, linear regression, mining sector.
JEL classification: F10; F14; L7.
MSC2010: 03F65; 00A06; 62J05.

1. Introducción

La minería es la principal actividad económica de Perú. Esta actividad se remonta a siglos pasados en el que las culturas precolombinas aprovechaban los recursos naturales para la fabricación de distintas piezas. Con el paso de los años y el desarrollo de esta industria, la extracción a gran escala le permite a Perú beneficiarse de las rentas generadas por esta actividad (Zárate, 2019) y un crecimiento económico favorable a lo largo de los años, representando más del 12% del PBI (Velásquez, 2020). Perú ha logrado posicionarse como uno de los principales productores en el mundo de Cobre, Oro, Zinc y otros metales (Asencios, 2020), siendo el oro y la plata los productos más antiguos de explotación (Contreras, 1994) y el cobre el que mayor participación tiene en las exportaciones peruanas, con un promedio de 23% de las exportaciones totales de Perú (Landa, 2017). Sin embargo, Chile se consolida como el principal país exportador de Cobre en el mundo y a lo largo de los años ha ido mejorando sus procesos para seguir manteniéndose como un país minero desarrollado (Oyama, 2020). Perú, que ocupa el segundo lugar, también ha promovido políticas en la extracción de cobre y otros minerales, permitiéndole un elevado crecimiento en los últimos años (Manrique & Arce, 2019), pero también existe una explotación informal que no se contabiliza en los datos del estado o instituciones internacionales (Soto et al., 2020). El segundo producto minero de mayor exportación en el Perú es el Oro, encontrándose en el departamento de Cajamarca la empresa minera de extracción de oro más grande de Latinoamérica que, en productividad, es la empresa que presenta mayor extracción de oro del mundo y se considera una de las mineras más rentables y "eficientes" del planeta (Yacoub et al., 2016).

La competitividad, desde siempre, ha sido estudiada por muchos autores, desde Adam Smith hasta la CEPAL con su matriz de competitividad (Labarca, 2007). Porter (1985) señala que la competitividad se define como la capacidad de una empresa para producir y vender sus productos de mejor manera que la competencia, así mismo Porter (1991) menciona que la ventaja competitiva de las empresas consiste en la capacidad de generar valor para los clientes, a través de estrategias de competitividad. Autores como Ivancevich y Lorenzi (1997) van más allá y exponen sobre la competitividad de las naciones, mencionando que es la capacidad de un país para poder sobrevivir en mercados internacionales y, a su vez, elevar los ingresos de los ciudadanos. Labarca (2007, p. 161) afirma que: "Para un país, la competitividad se traduce en la posibilidad que tienen sus ciudadanos para alcanzar un nivel de vida elevado y creciente".

Autores como Mandeng (1991) exponen que la competitividad de los países puede medirse a través de indicadores de exportación e importación. El análisis del dinamismo y la competitividad de los países (tanto de exportadores como de importadores), así como el análisis de la ventaja comparativa revelada permite tomar decisiones en beneficio de cada país (Yu & Qi, 2015) y para el gobierno, mantener la estabilidad de los ingresos por exportaciones es importante en la administración de su reserva de divisas (Simatupang, 2016) porque aporta mayor cantidad de divisas para el país (Daulika et al., 2020) y esto es vital debido a que los riesgos económicos mundiales están en constante aumento (Baleevskikh & Galeev, 2020), pero también los beneficios en educación, salud e infraestructura son mayores (Landa, 2017).

La aplicación de nuevos modelos y el desarrollo de tecnología en el sector minero, permite una mayor producción en los yacimientos, favoreciendo a la competitividad; sin embargo, el aprendizaje organizacional contribuye en mayor proporción al crecimiento y desarrollo de las empresas (Morales Alvis et al., 2020). Así mismo, la evolución de las ciudades mineras coloniales a ciudad industrial o ciudad campamento, que es el modelo predominante en la actualidad (Vega-Centeno, 2011), ha aumentado la explotación de estos recursos considerablemente. La mejora y disposición de investigaciones también permite una mayor extracción de estos recursos brindándole competitividad al país (Suarez & Vilca, 2020) y eficiencia, beneficiando también al medio ambiente (Velasquez et al., 2019) incorporando una economía circular en la extracción (Cano et al., 2020).

Entonces, para que los países sean más eficientes y enfoquen mejor sus recursos en la promoción de sus productos a los principales países destino, es importante conocer qué países presentan un mayor dinamismo y oportunidades de desarrollo (Yulhar & Darwanto, 2019). Evaluar la competitividad de

Perú y otros países latinoamericanos en la industria minera es importante ya que América Latina cuenta con un alto porcentaje de reservas de minerales metálicos y representa uno de los más importantes proveedores al mundo (del Valle, 2020); a su vez este tipo de estudio permite a las organizaciones del estado, como el Ministerio de Energía y Minas para Perú, plantear proyectos para incentivar una mayor explotación, pero que favorezca al gobierno y a las localidades donde se produce la explotación de estos recursos mineros.

El objetivo principal de esta investigación es conocer la competitividad de los principales productos mineros de exportación peruanas, compararlos con los principales países exportadores y analizar el comportamiento evolutivo de los principales importadores a lo largo de 10 años de evaluación. La metodología que se utilizará será una modificación a la matriz de la competitividad de la Comisión Económica para América Latina y el Caribe [CEPAL] propuesta por Ramón Lacayo y Cristian Morales. Ésta ayuda a entender mejor la variación en los productos o grupo de productos de los países exportadores e importadores a partir de nueve cuadrantes como alternativa mejorada a la de cuatro cuadrantes propuestos por la CEPAL permitiendo entender el comportamiento dinámico de la competitividad. Para complementar el análisis se utilizarán también los indicadores RCA, CTB y PCE para evaluar las categorías escogidas.

A nivel de investigaciones científicas, son pocas las que abordan la competitividad desde la matriz propuesta por la CEPAL y mucho menos las que utilizan la matriz modificada. Para Perú, hasta el momento de la elaboración de este artículo, no se han encontrado investigaciones que utilicen la matriz de competitividad modificada para analizar un sector exportador; sin embargo, Guevara y Morales (2018) hacen una comparativa de los principales productos chilenos y peruanos de exportación para comparar la competitividad de ambos países, pero solo utilizan los principales productos, no un sector. Es en este vacío que esta investigación toma importancia para brindar esta información a todos los lectores peruanos y extranjeros.

Como resultado generales de la investigación se evidenció un alto grado de especialización en todas las categorías estudiadas siendo Cobre la categoría con el más alto nivel de ventaja comparativa y la segunda categoría con la mayor tasa de crecimiento en todo el periodo estudiado; así mismo, es el principal producto de exportación minero peruano que, para el 2019, aportó más de 25% de los ingresos por exportación al país (ITC-TradeMap). La categoría Oro es la segunda con mayor tasa de competitividad, sin embargo, es la que presenta mayor decrecimiento. Cinc y Cobre Refinado tienen altos niveles de especialización, pero su competitividad está en decrecimiento. Finalmente, la categoría Hierro es la que menos competitividad evidenció, pero muestra una tasa de crecimiento superior a las demás categorías.

2. Metodología y fuentes

2.1. Métodos

Se utilizaron tres indicadores para el análisis: indicadores de especialización, indicador de estructura comercial e indicadores de competitividad. Cada categoría se detalla a continuación.

2.1.1. Indicadores de especialización

Se utilizaron dos indicadores para analizar esta categoría: ventaja comparativa revelada [RCA, por sus siglas en inglés] y el indicador de contribución a la balanza comercial [ICTB, por sus siglas en inglés].

2.1.1.1. Ventaja comparativa revelada (RCA)

Este indicador es usado para analizar la estructura exportadora de un país y determinar si posee una ventaja comparativa o no; así mismo, permite analizar el grado de especialización del país con respecto

a la producción de un determinado producto o categoría (Addison-Smyth, 2005). Este indicador admite la comparación de ventaja comparativa entre países e incluso entre grupos de países (Balassa, 1965). Su fórmula es la siguiente:

$$RCA_{ij} = \frac{(X_{ij}/X_j)}{(X_i/X)} \times 100 \quad [1]$$

donde:

RCA_{ij}: La RCA del producto i desde el país j

X_{ij}: total exportaciones del producto i desde el país j

X_j: exportaciones totales del país j

X_i: Exportaciones totales del producto i por el mundo

X: Total de exportaciones del mundo.

Este indicador puede tomar valores positivos, pero si los valores son mayores a 100, entonces es posible afirmar que el país posee una ventaja comparativa revelada para dicho producto (Utkulu & Seymen, 2004); una desventaja de este indicador es que para el análisis solo toma valores de exportación y no de importación, pero los países muchas veces exportan e importan, al mismo tiempo, así que para evitar un análisis erróneo usaremos el indicador CTB (Morales et al., 2008).

2.1.1.2. Índice de contribución a la balanza comercial (ICTB)

Para un mejor análisis sobre la competitividad de los países, es importante analizar sus exportaciones netas debido a que muchos países no solo producen, sino que pueden importar al mismo tiempo, como se ve en la Figura 3 donde Suiza es el principal exportador de la categoría Oro, pero también es el principal importador. Por ello, se utilizó el indicador CTB para complementar el análisis y mejorar el procesamiento de la información. La fórmula es la siguiente:

$$ICTB_{ij} = \left(\frac{X_{ij} - M_{ij}}{\frac{X_j + M_j}{2}} - \frac{X_j - M_j}{\frac{X_j + M_j}{2}} \right) \left(\frac{X_{ij} - M_{ij}}{X_j + M_j} \right) \quad [2]$$

donde:

$ICTB_{ij}$: El ICTB del producto i en el país J

X_{ij}: Exportaciones totales del producto i desde el país j

M_{ij}: Importaciones totales del producto i desde el país j

Xj: Exportaciones totales del país j

M_j: Importaciones totales del país j.

El ICTB puede tomar tanto valores positivos como negativos, a diferencia del indicador RCA que solo asume valores positivos; así mismo, pone en evidencia a los sectores que contribuyen en menor o mayor proporción a la participación porcentual del país en su comercio total (Laursen, 2015). Este indicador permite analizar los cambios en las estructuras comerciales de los productos en los países; si los valores son positivos se afirma que posee una ventaja comparativa; por el contrario, si es negativo, es posible afirmar que no posee una ventaja comparativa.

2.1.2. Indicador de estructura comercial (PCE)

Este indicador nos brinda el porcentaje de participación de un producto o categoría en comparación con el total de exportaciones de un determinado país y su fórmula está compuesta por:

$$PCE_{ij} = \frac{X_{ij}}{X_j} \quad [3]$$

donde:

PCE_{ij}: Participación del producto i en las exportaciones del país j

X_{ij}: Exportaciones totales del producto i desde el país j

X_j: Exportaciones totales del país j.

2.1.3. Indicadores de competitividad

Para Bonifaz y Mortimore (1999) la competitividad es definida como la posibilidad de un país en conquistar y mantener una participación de mercado exterior de algunos productos o grupo de productos. En este sentido, la competitividad no es más que el nivel de eficiencia exportadora de un país en cualquier momento. La matriz de *Competitive Analysis of Nations* [CAN] desarrollado por la CEPAL es utilizada como metodología de referencia. Sin embargo, Lacayo y Morales (2007) modificaron dicha matriz para la estimación de la competitividad de las exportaciones en su análisis a las exportaciones agrícolas chilenas el 2007, proporcionando indicadores que simplifican la realidad de los productos estudiados y aporta mayor información para un mejor análisis, ya que es importante el análisis del dinamismo y la competitividad de los países para la toma de decisiones en distintos sectores.

2.1.3.1. Dinamismo o índice de Participación Sectorial (PS)

Este indicador permite analizar el crecimiento de la participación de un bien o conjunto de bienes en el total de importaciones del país o región y se expresa de la siguiente manera.

$$PS_i = \frac{M_i}{M_{total}} \times 100 \quad [4]$$

donde:

PS_i: participación sectorial del producto i

M_i: importaciones totales del producto i en el país o región considerado

M_{total}: Importaciones totales del país o región considerado.

2.1.3.2. Competitividad o índice de Participación de Mercados (PM).

Mide la capacidad de un país que exporta un determinado bien a un determinado país o región (target), analizando su evolución y su nivel de competitividad con respecto a sus competidores. La fórmula es la siguiente:

$$PM_{ij} = \frac{X_{ij}}{M_i} \quad [5]$$

donde:

PM_{ij}: participación de mercado del producto i producido en el país j en el país o región considerado

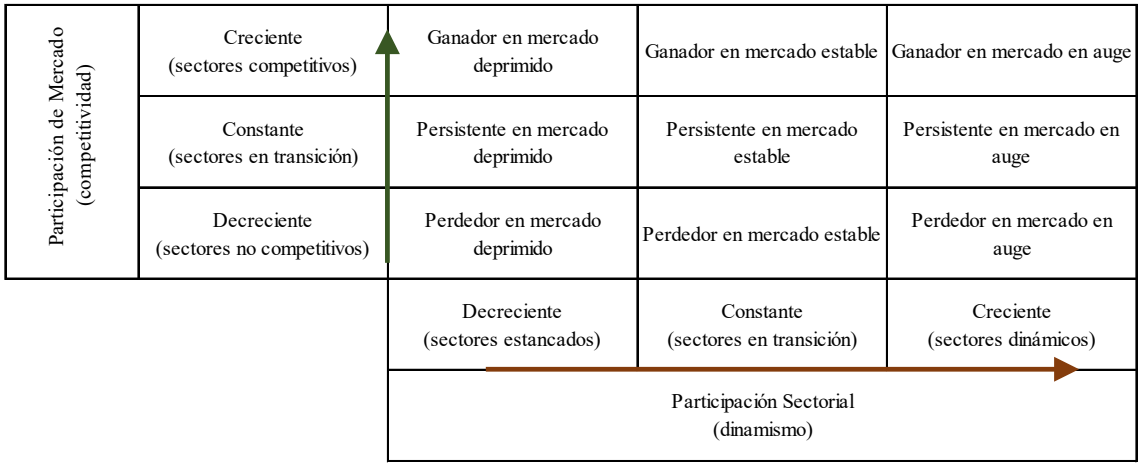
X_{ij}: exportaciones totales del producto i desde el país j hacia el país o región considerada

M_i: importaciones totales del producto i en el país o región considerado.

Para obtener indicadores más estables y con sesgo reducido, los valores de las importaciones y exportaciones para el cálculo de los indicadores se obtuvieron a partir de series de tiempo anual. Estos indicadores posibilitan la creación de un modelo de matriz de competitividad similar a la CAN, que permite clasificar los productos o categorías bajo análisis.

La significancia estadística de la tendencia (el tiempo como regresor en el cálculo de la pendiente del indicador en un modelo de regresión lineal) fue la base para la elaboración de la matriz. Se utilizó un error tipo I del 5% en la estimación de la pendiente (Morales et al., 2008); de esta forma se logró obtener una categoría adicional de las dos ya existentes en la matriz de la CEPAL, tanto para la participación de mercado como para la participación sectorial, permitiendo generar una matriz con nueve cuadrantes y no cuatro, propuestas inicialmente por la CEPAL, al incorporar la categoría denominada constante a las ya existentes (aumento o disminución); así, con una significancia del 5% en la pendiente de ambos indicadores se obtuvieron datos como positiva, cero o negativa interpretándose como creciente, constante y decreciente en su competitividad o dinamismo (Lacayo & Morales, 2007). La Figura 1 muestra la nueva matriz de competitividad propuesta por Lacayo y Morales (2007), pero con la interpretación de los cuadrantes realizada por Guevara y Morales (2018).

Figura 1. Matriz de la competitividad modificada.



Fuente: Extraído de Guevara & Morales (2018), que interpretaron los cuadrantes propuestos por Ramón y Lacayo (2007).

2.2. Fuentes

Para la presente investigación se utilizó la plataforma de la International Trade Center, Trade statistics for international business development [ITC-Trade Map] para la extracción de toda la información y base de datos y el periodo analizado fue de 2010 a 2019.

Los datos extraídos para el análisis fueron el valor exportado, representado en valores dólar estadounidense [USD] libre a bordo "FOB" [Free on board, por sus siglas en inglés].

2.2.1. Elección de los productos

Para el análisis se consideraron los cinco productos mineros con mayor participación en las exportaciones peruanas durante el periodo en estudio, haciendo un análisis a los principales países destino y a los competidores.

Se utilizó el Sistema Armonizado de Designación y Codificación de Mercancías de la Organización Mundial edición 2017, para la clasificación de los productos a estudiar y el alcance de este sistema armonizado fue de 6 dígitos ya que, a este nivel, los bienes que se desea estudiar están agrupados por características más específicas y similares. Los nombres serán modificados para facilitar el entendimiento de este artículo, el nuevo nombre que se asignará (está entre comillas) a cada categoría será con la finalidad de simplificar y expresar toda la categoría de manera sencilla y de fácil interpretación para el lector. A continuación, se enumeran los nombres con su descripción de acuerdo con lo expresado en el sistema armonizado:

i. “Cobre” (260300: Minerales de cobre y sus concentrados),
ii. “Oro” (710812: Oro, incl. el oro platinado, en bruto, para uso no monetario (exc. en polvo)),
iii. “Cinc” (260800: Minerales de cinc y sus concentrados),
iv. “Cobre Refinado” (740311: Cobre refinado en forma de cátodos y de secciones de cátodos)
v. “Hierro” (260111: Minerales de hierro y sus concentrados, sin aglomerar (exc. piritas de hierro tostadas "cenizas de piritas")).

2.2.2. Elección de los países

Para el periodo analizado, los principales competidores y principales países destino por cada categoría están detallados en la Tabla 1.

Tabla 1. Categorías, Países exportadores y Países destino seleccionados.

Categoría	Descripción	Principales Exportadores	Ranking Mundial	Participación en las exportaciones mundiales 2019 (%)	Principales Importadores	Ranking Mundial	Participación en las importaciones mundiales 2019 (%)
260300	Minerales de cobre y sus concentrados	Chile, Perú, Australia y Canadá	1°, 2°, 3° y 4°	30.7, 20.3, 7.3 y 4.9	China, Japón, República de Corea, Alemania e India	1°, 2°, 3°, 4° y 7°	57.3, 13.9, 5.8, 3.2 y 2.
710812	Oro, incl. el oro platinado, en bruto, para uso no monetario (exc. en polvo)	Suiza, Hong Kong - China y Perú	1°, 2° y 11°	24.5, 11.4 y 3.1	Suiza, Canadá, India y Estados Unidos	1°, 7°, 4° y 2°	25.5, 2.4, 13.1 y 3.9
260800	Minerales de cinc y sus concentrados	Australia, Perú, Estados Unidos y Bolivia	1°, 2°, 3° y 4°	17.1, 15.6, 14.1 y 13	China, República de Corea, España y Japón	1°, 2°, 4° y 5°	25, 16.7, 9.9 y 7.5
740311	Cobre refinado en forma de cátodos y de secciones de cátodos	Chile y Perú	1° y 8°	25.9 y 3.1	China, Italia, Brasil, República de Corea y Estados Unidos	1°, 4°, 11°, 10° y 2°	37.9, 5.6, 1.9, 2.5 y 7.1
260111	Minerales de hierro y sus concentrados, sin aglomerar (exc. piritas de hierro tostadas	Australia, Brasil, Canadá y Perú	1°, 2°, 3° y 9°	64.7, 19.5, 3.1 y 0.9	China, Japón y Estados Unidos	1°, 2° y 27°	75.2, 7.1 y 0.3

	"cenizas de piritas")						

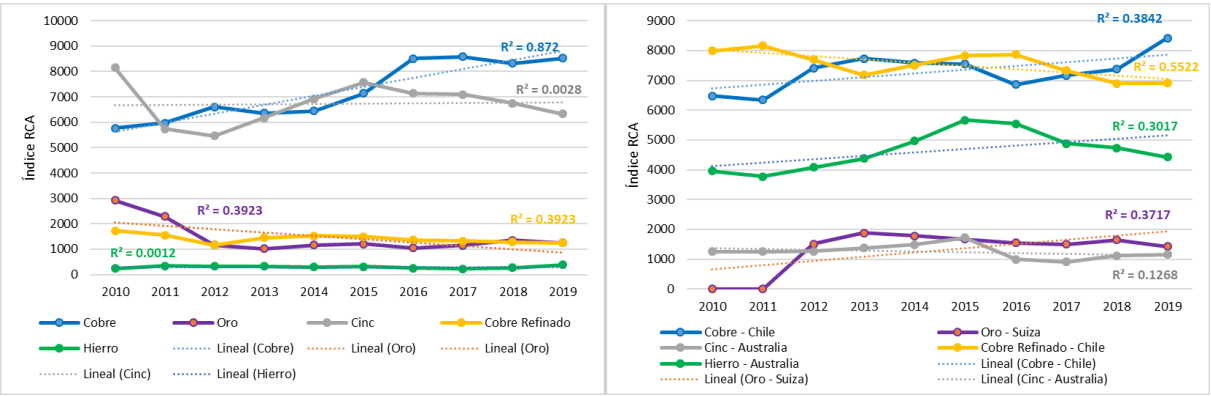
Fuente: Elaboración propia, basado en estadísticas del ITC-Trade Map.

3. Resultados

3.1. Especialización

El índice RCA para los productos mineros de exportación peruanos mostraron una ventaja comparativa evidente, como se ve en la Figura 2. Perú, en comparación con su principal competidor (Chile), ganó un mayor nivel de ventaja comparativa en la categoría Cobre y una mayor tasa de crecimiento en dicha ventaja, con una tasa de 4.13% para Perú y 2.11% para Chile, su tendencia es positiva y se podría afirmar un crecimiento similar en los próximos años. En la categoría Oro el nivel de ventaja comparativa de Perú fue casi similar al de su principal competidor (Suiza), pero dicha competitividad decreció de manera más acelerada, con una tasa de -7.92%, evidenciando una desventaja comparativa para Perú y es esta categoría el segundo producto de mayor exportación peruana, pero con pérdida de competitividad con su principal competidor.

Figura 2. Evolución del indicador RCA para las exportaciones mineras peruanas (izquierda) y del principal competidor por cada categoría (derecha) de 2010 a 2019.

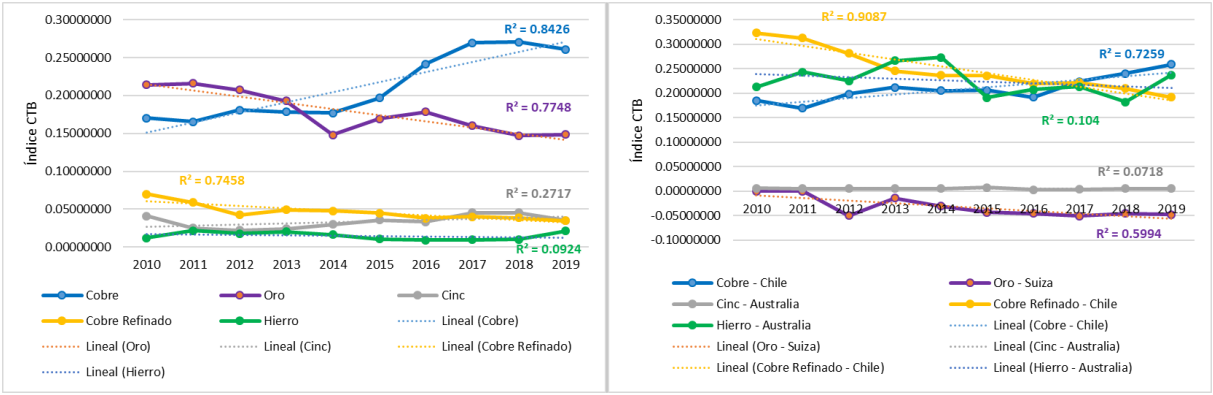


Fuente: Elaboración propia, basado en estadísticas del ITC-Trade Map.

Por su parte, Suiza, a partir del 2012 recién inició su proceso de exportación logrando, después de unos años, convertirse en el principal país exportador de dicha categoría, aunque en el periodo estudiado evidenció un ligero decrecimiento en dicha ventaja con una tasa de -0.14%. En la categoría Zinc, Perú tuvo un alto índice de ventaja comparativa con respecto a su principal competidor (Australia), pero al igual que la categoría Oro, perdió competitividad de manera acelerada, con una tasa de -3.81%, en comparación a su competidor que en el periodo tuvo un crecimiento de 1.74%. Para Cobre Refinado, Perú pierde competitividad a una tasa promedio de -3.97% anual, frente a su principal competidor y el principal exportador del mundo (Chile), que evidenció un alto grado de ventaja comparativa revelada por encima de Perú, mostrando una desventaja para Perú, a pesar de que Chile también tuvo un decrecimiento en esta categoría, pero a una tasa menor a la de Perú, con -2.29%. Finalmente, en la categoría Hierro, Perú pierde nivel de competitividad debido a que el principal exportador de esta categoría (Australia) representa más del 70% de la participación en las exportaciones mundiales y, aunque Perú tiene un crecimiento notable de 6.68%, no es suficiente para la magnitud de las exportaciones de Australia que aún en el periodo evidenció un ligero crecimiento de 0.87%.

Respecto al índice de contribución a la balanza comercial (ICTB), Perú mostró altos niveles de especialización en sus categorías analizadas. Como se ve en la Figura 3, las categorías con mayor contribución a los ingresos netos de Perú fueron Cobre y Oro, siendo estos dos los principales productos de exportación minera de Perú. Para la categoría Cobre, Perú gana y tiene un crecimiento de este nivel de competitividad a una tasa de 6.41%, evidenciando que tiene una tendencia positiva de crecimiento para los próximos años, mientras que su competidor (Chile) a 4.49%, siendo estos dos los principales exportadores del mundo de esta categoría. Para la Categoría Oro, Perú con respecto a su principal competidor y mayor exportador del mundo (Suiza) presentó un índice CTB positivo y su nivel de especialización fue evidente, mientras que Suiza obtuvo valores negativos, lo que fue evidente debido a que Suiza también es el principal importador de dicha categoría en el mundo; ambos países evidenciaron un decrecimiento en todo el periodo estudiado con una tasa de -4.55% para Perú y -9.61% para Suiza. Para la categoría Cinc, el principal competidor (Australia) tuvo un crecimiento en sus niveles de especialización una tasa de 7.29%, mientras que Perú a 0.80%; sin embargo, Perú tiene mejor nivel de competitividad que su competidor. Para Cobre Refinado, la tendencia de decrecimiento de Chile es evidente y se estima que en los próximos años este nivel de competitividad siga cayendo, con una tasa de -4.13%, pierde menor tasa de competitividad que Perú que tiene un decrecimiento de -5.90%; este comportamiento de decrecimiento se debe al decrecimiento en las importaciones de los principales mercados destino como se muestra en la Figura 8. Finalmente, en la categoría Hierro, a diferencia de Chile con el Cobre Refinado, Australia evidenció un crecimiento elevado de competitividad y especialización con una tendencia positiva para los próximos años, su tasa de crecimiento fue de 6.43% y para Perú fue de 16.53%, siendo la tasa de Perú superior, pero no se compara la participación en el comercio mundial de Hierro como Australia.

Figura 3. Evolución del indicador ICTB para las exportaciones mineras peruanas (izquierda) y del principal competidor por cada categoría (derecha) de 2010 a 2019.



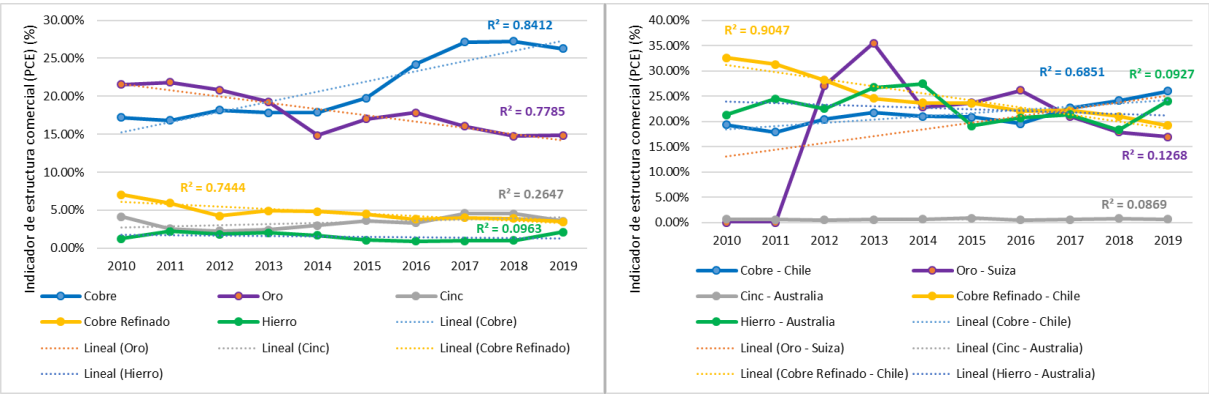
Fuente: Elaboración propia, basado en estadísticas del ITC-Trade Map.

Contrastado los valores del RCA y el ICTB se pudo afirmar que Perú obtuvo ventaja comparativa en la categoría Cobre y Hierro, mientras que en las categorías de Oro y Cobre Refinado su nivel de especialización fue positivo, pero presentaron un decrecimiento; para la categoría Cinc existió una diferencia entre ambos valores ya que en los niveles RCA presentó un decrecimiento y en el ICTB presentó crecimiento, pero ambos indicadores mostraron valores positivos de especialización de dicha categoría. Para los principales competidores en la categoría de Cobre (Chile), Cinc (Australia), Cobre Refinado (Chile) y Hierro (Australia) presentaron ventaja comparativa y un crecimiento en su ventaja comparativa a excepción de Cobre refinado en el que se evidenció un decrecimiento. Para la categoría Oro (Suiza) su RCA mostró una ventaja comparativa y el CTB lo contrario; sin embargo, ambos índices mostraron una tendencia a la baja.

3.2. Estructura comercial

Para Perú (Figura 4), las categorías con una alta participación relativa fueron Cobre y Oro, con una participación promedio de 21.25% y 17.89% respectivamente, siendo estas dos categorías los productos más exportados por Perú y que juntos representaron casi el 40% de exportaciones peruanas. Para sus competidores, Chile (Cobre) y Suiza (Oro), el nivel de participación relativa fue similar a la de Perú, con una participación promedio de 21.34% y 19.10% respectivamente. En las categorías Cinc, Cobre Refinado y Hierro la participación promedio de Perú fue de 3.40%, 4.67% y 1.51% respectivamente. Para Australia, principal competidor de Perú en las categorías Cinc y Hierro, presentó un bajo nivel de participación relativa en la categoría Cinc con solo 0.62%, pero en la categoría Hierro fue donde evidenció un alto nivel de participación relativa con un 22.60% frente al 1.51% de Perú y esto es evidencia de que dicha categoría es el principal producto de exportación de Australia. Finalmente, en la categoría Cobre Refinado (Chile) tuvo una participación relativa promedio de 24.82% y dicho producto es el principal producto de exportación chilena.

Figura 4. Evolución de la estructura comercial para las exportaciones mineras peruanas (izquierda) y del principal competidor por cada categoría (derecha) de 2010 a 2019.



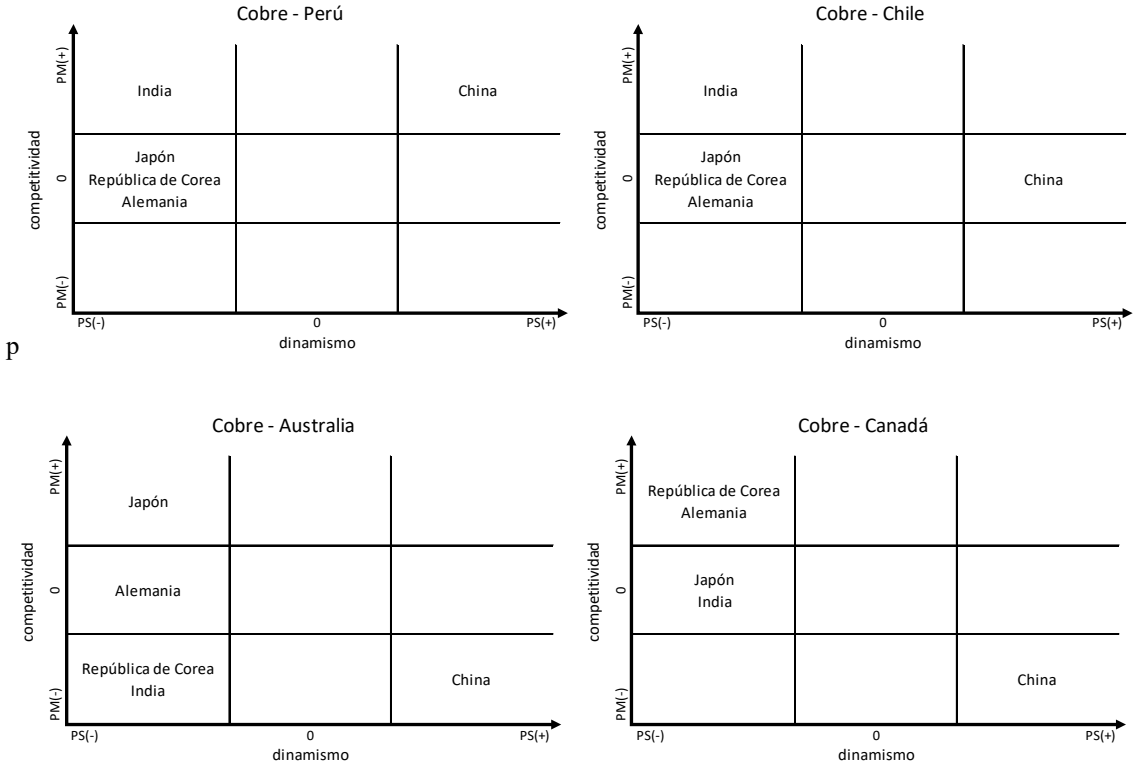
Fuente: Elaboración propia, basado en estadísticas del ITC-Trade Map.

El promedio de crecimiento de las exportaciones totales peruanas en el periodo estudiado fue de 6.55% y la categoría que mostró el más alto nivel de crecimiento en participación fue Hierro con un 16.08%, seguido por Cobre y Cinc con un crecimiento promedio de 6.35% y 0.75% respectivamente y se espera que la categoría Cobre mantenga el nivel de crecimiento de los últimos años. Para las categorías restantes que son Oro y Cobre Refinado se evidenció un decrecimiento en su participación relativa, siendo Cobre Refinado el que mayor decrecimiento mostró con un -5.97% en comparación con Oro con un -3.18%. Para los competidores, empezando con Chile, el promedio de crecimiento de sus exportaciones nacionales fue de 3.07% frente al crecimiento significativo y tendencia positiva de crecimiento de 4.15% de la categoría Cobre y un decrecimiento de -4.28% para la categoría Cobre Refinado, que tiene una tendencia significativa de decrecimiento para los próximos años; para Suiza el crecimiento de sus exportaciones nacionales fue de 6.92%, pero en la categoría Oro evidenció un decrecimiento de -3.05% y finalmente para Australia el promedio de crecimiento de sus exportaciones nacionales fue de 7.24%, siendo la categoría Hierro 6.63% la que mayor crecimiento evidenció en el presente análisis y para la categoría Cinc su crecimiento fue de 6.37%.

3.3. Competitividad en las exportaciones

Como se muestra en la Figura 5 para la categoría Cobre, el principal importador (China) mostró un dinamismo positivo consolidándose como el país más atractivo y en auge, mientras que los otros países importadores mostraron un dinamismo negativo, evidenciando una recesión en sus actividades comerciales de esta categoría. Frente a esta situación de los mercados, Perú logró posicionarse en el cuadrante ganador en la India y China, siendo la India un mercado deprimido; mantuvo su nivel de competitividad constante en Japón, República de Corea y Alemania. Para Chile (principal exportador) logró ganar competitividad en la India, al igual que Perú y se mantuvo constante en su competitividad en los demás países. Para Australia la realidad fue distinta ya que logró posicionarse en el cuadrante ganador en Japón, una competitividad constante en Alemania, pero se posicionó en el cuadrante perdedor en China, República de Corea e India y, finalmente, para Canadá, se posicionó en el cuadrante ganador en los mercados de República de Corea y Alemania, su competitividad se mantuvo constante en Japón e India, pero se posicionó en el cuadrante perdedor en China.

Figura 5. Matrices de Competitividad para Perú y los principales exportadores de la categoría Cobre.

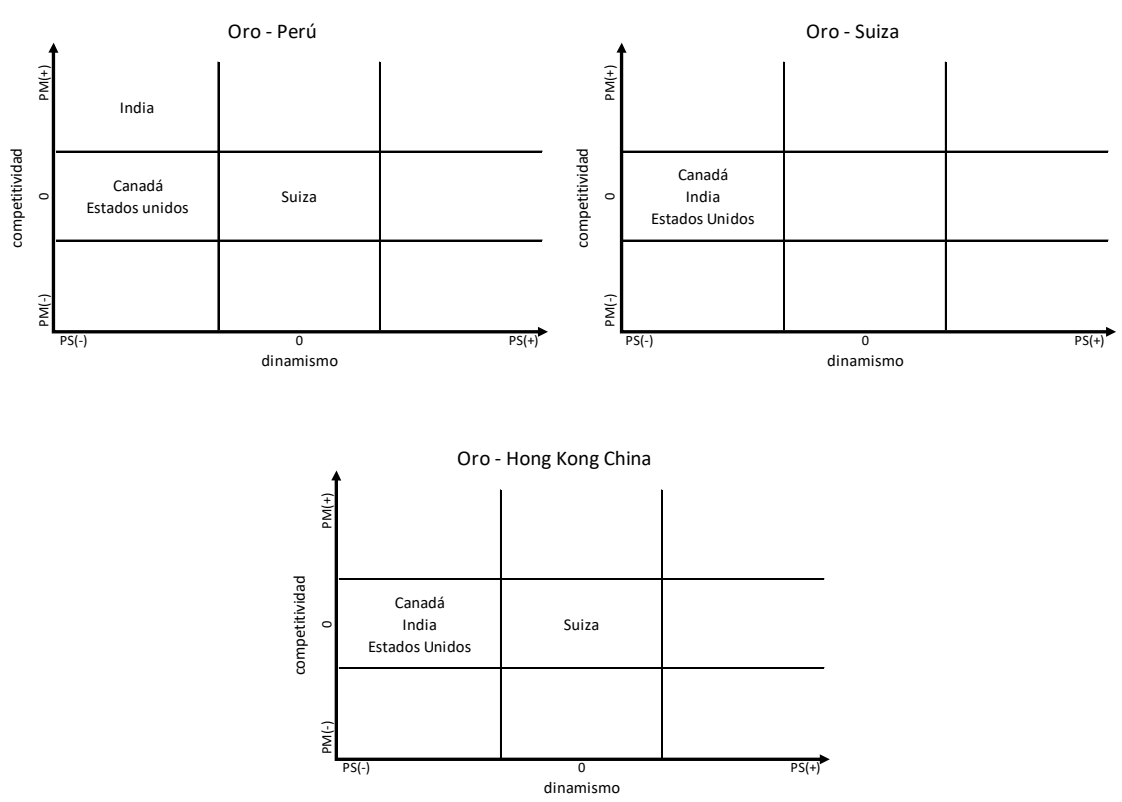


p

Fuente: Elaboración propia, basado en estadísticas del ITC-Trade Map.

El promedio de participación de mercado de Perú para los principales países importadores fue de 22.06% en China, 11.50% en Japón, 11.39% en República de Corea, 22.05% en Alemania y de un 6.31% en la India; para Chile de un 28.68%, 40.76%, 0.16%, 17.14% y un 41.36%; para Australia de un 7.32%, 14.09%, 18.14%, 8.95% y un 16.54%; finalmente para Canadá un 3.84%, 8.45%, 10.80%, 6.87% y un 3.61% respectivamente.

Figura 6. Matrices de Competitividad para Perú y los principales exportadores de la categoría Oro.



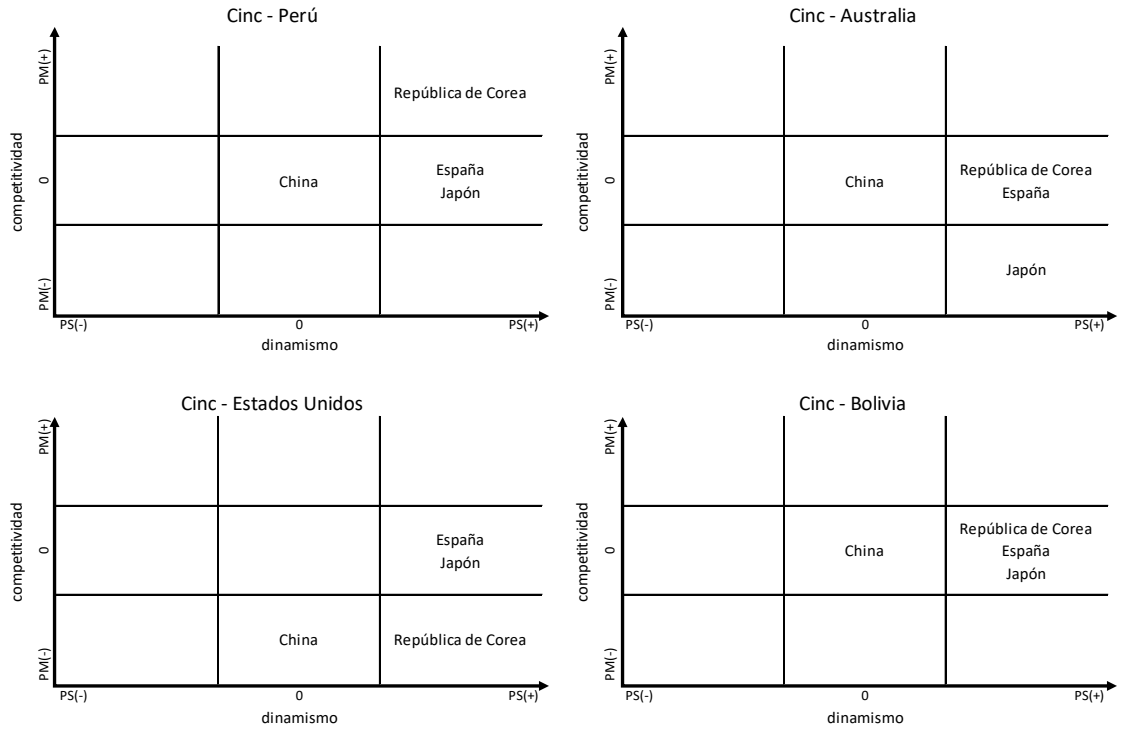
Fuente: Elaboración propia, basado en estadísticas del ITC-Trade Map.

Para la categoría Oro, Suiza (principal importador) mostró un dinamismo constante mientras que los otros países importadores un dinamismo decreciente (Figura 6). Perú se consolidó en el cuadrante ganador en la India, siendo este un mercado deprimido y se mantuvo constante en sus niveles de competitividad en Canadá, Estados Unidos y Suiza. Para Suiza (principal exportador) su nivel de competitividad se mantuvo constante en los países importadores estudiados y finalmente Hong Kong-China mantuvo un nivel de competitividad similar a la de Suiza. Perú tuvo un promedio de cuota de mercado de 3.07% en Suiza, 23.29% en Canadá, 2.08% en India y un 10.26% en Estados Unidos; para Suiza su participación fue de 0.90% en Canadá, 53.42% en India y 4.46% en Estados Unidos; finalmente para Hong Kong-China el promedio de cuota de mercado fue de un 2.76% en Suiza, 0.003% en Canadá, 0.96% en India y 0.10% en Estados Unidos.

Para la categoría Cinc, como se muestra en la Figura 7, los principales países destino para este producto tuvieron un dinamismo de evolución creciente, es decir, son mercados en auge a excepción de China que mantiene su dinamismo y también es importante mencionar que es el principal país importador de esta categoría. Perú se consolidó en el cuadrante ganador en República de Corea y es el único que logró esto a comparación de sus competidores; mantuvo su nivel de competitividad en España, Japón y China, este último un mercado con dinamismo constante. Para Australia, su nivel de competitividad fue constante en los países de República de Corea, España y China, mientras que se consolidó en el cuadrante perdedor en Japón, siendo este un mercado con alto crecimiento y fue evidencia del bajo nivel de especialización que obtuvo en análisis anteriores (RCA y ICTB), pero que está en crecimiento. Para Estados Unidos su nivel de competitividad fue completamente distinto, consolidándose en el cuadrante perdedor en los países de China y República de Corea, pero mantuvo su competitividad en España y Japón. Finalmente, para Bolivia su nivel de competitividad fue constante en todos los países estudiados. El promedio de participación de mercado de Perú en China fue de 22.53%, en República de Corea 18.75%, en España de 32.59% y en Japón de 20.33%, para Australia

fue de 37.06%, 20.04%, 15.33% y 23.30%; Para Estados Unidos fue de 0.88%, 11.85%, 13.26% y 15.35% y finalmente para Bolivia fue de 1.72%, 12.63%, 5.88% y 29.44% respectivamente.

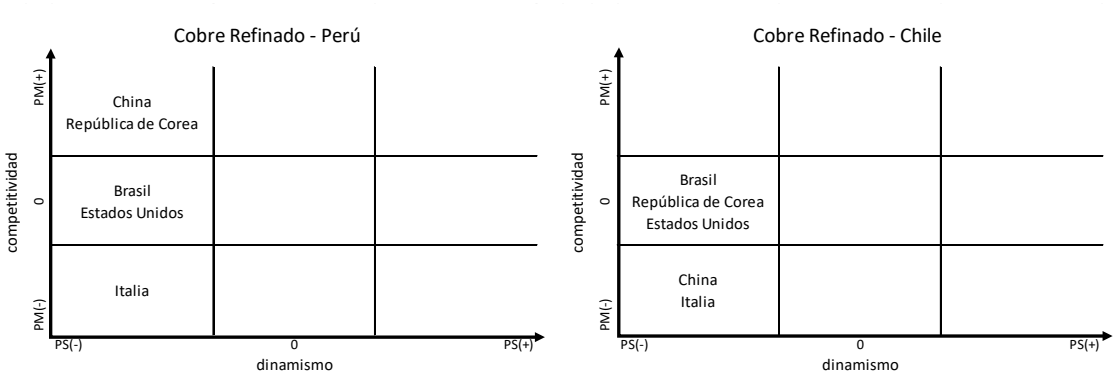
Figura 7. Matrices de Competitividad para Perú y los principales exportadores de la categoría Cinc.



Fuente: Elaboración propia, basado en estadísticas del ITC-Trade Map.

Como se muestra en la Figura 8, para la categoría Cobre Refinado, los principales países destino de estas exportaciones evidencian un decrecimiento en su dinamismo, es decir, sus importaciones se han visto reducidas en el periodo estudiado y esto se ve reflejado en la pérdida de los niveles de especialización de Perú y el principal exportador del mundo (Chile). Perú fue el único país que logró ganar competitividad en los países de China (principal importador en el mundo) y República de Corea, mientras que en Brasil y Estados Unidos su nivel de competitividad se mantuvo constante, pero se posicionó en el cuadrante perdedor en Italia; para Chile su nivel de competitividad se mantuvo en Brasil, República de Corea y Estados Unidos, pero se posicionó en el cuadrante perdedor en China e Italia, los principales países importadores de esta categoría. Perú tuvo una cuota de mercado promedio del 3.79% en China, 10.11% en Italia, 19.84% en Brasil, 2.31% en República de Corea y de un 3.69% en Estados Unidos; para Chile su promedio de cuota de mercado fue de 33.53%, 24.04%, 81.68%, 66.49% y de 57.59% respectivamente. Si bien es cierto que la participación de mercado de Chile fue superior a la de Perú, Chile estuvo perdiendo en mayor proporción dicha competitividad en sus exportaciones a diferencia de Perú.

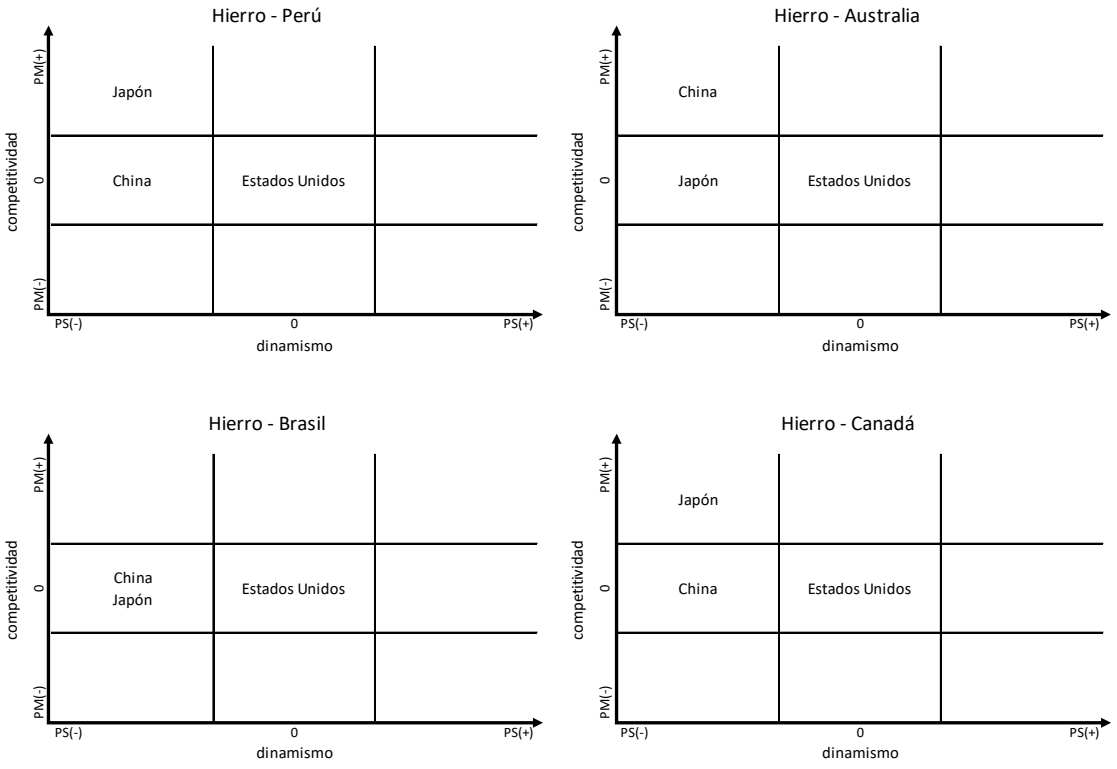
Figura 8. Matrices de Competitividad para Perú y el principal exportador de la categoría Cobre Refinado.



Fuente: Elaboración propia, basado en estadísticas del ITC-Trade Map.

Para la categoría Hierro, China (principal importador en el mundo) y Japón muestran un dinamismo decreciente y Estados Unidos mantiene un dinamismo constante (Figura 9).

Figura 9. Matrices de Competitividad para Perú y los principales exportadores de la categoría Hierro.



Fuente: Elaboración propia, basado en estadísticas del ITC-Trade Map.

Perú se posicionó en el cuadrante ganador en el mercado de Japón, mientras mantuvo su nivel de competitividad en China y Estados Unidos; para Australia (principal exportador en el mundo), se consolidó en el cuadrante ganador en el mercado de China y mantuvo su competitividad en Japón y Estados Unidos. Para Brasil su competitividad fue constante en todos los mercados estudiados y, finalmente, para Canadá, en el mercado japonés se consolidó en el cuadrante ganador al igual que Perú

y mantuvo su nivel de competitividad en China y Estados Unidos. El promedio de participación de mercado de Perú fue la siguiente: para China 1.22%, Japón 0.40% y Estados Unidos de un 3.98%; para Australia 56.88%, 63.28% y 0.24%; para Brasil 21.99%, 24.47% y 36.52% y finalmente para Canadá 1.17%, 2.86% y un 20.11% respectivamente.

4. Discusión

Todas las categorías demostraron tener buenos niveles de competitividad con los mercados destinos analizados, incluso superiores o iguales a la de los principales competidores en el mundo. La categoría con el más alto nivel de ventaja comparativa y la segunda categoría con la mayor tasa de crecimiento en todo el periodo estudiado es Cobre; así mismo es el principal producto de exportación minera peruana que, para el 2019, aportó más del 25% de los ingresos por exportación al país (ITC-TradeMap, 2020); esto en gran medida se debe a la promoción de proyectos mineros como Las Bambas o Cerro Verde (Paredes, 2018). Así mismo, el principal mercado destino (China) demanda de un alto consumo y Perú se ha consolidado como un socio importante (Freitas & Bielschowsky, 2018) permitiéndole tener una tendencia de crecimiento sólida para los próximos años. La segunda categoría con alto grado de especialización es Oro, pero tiene la más alta tasa de decrecimiento en comparación con las otras categorías analizadas, restándole ventaja comparativa en todo el periodo estudiado; esto se debe al decrecimiento de los principales mercados, a pesar de ello Perú logra mantener sus niveles de competitividad con el principal importador del mundo (Suiza) y en parte se debe al tratado de libre comercio [TLC] con la Asociación Europea de Libre Comercio [EFTA, por sus siglas en inglés] (Gutiérrez & Herrera, 2020). La categoría Cobre Refinado y Cinc, al igual que Oro, tienen un buen nivel de especialización, pero dicho nivel ha disminuido en todos los años estudiados siendo Cobre Refinado el que tiene la mayor tasa de decrecimiento en comparación con Cinc, considerando que los mercados destino de Cobre Refinado están en retroceso y tendencia decreciente (Quispe, 2017), mientras que los mercados destino de Cinc evidenciaron un crecimiento (ITC-TradeMap, 2020) y Perú mantiene sus niveles de competitividad aunque podría apostar por esta categoría y así generar mayores ingresos para el país; finalmente, la categoría Hierro es la que presenta el más bajo nivel de ventaja comparativa, pero su tasa de crecimiento en todos los indicadores (RCA, CTB & PCE) es superior al resto de categorías estudiadas, consolidándose como la categoría mayor crecimiento en valor evidenció en el periodo estudiado como se ve en la Tabla 2. A pesar de su baja participación, Perú muestra una tendencia positiva en esta categoría y en especial en los mercados destino ayudado de sus buenas relaciones comerciales y tratados bilaterales existentes (Cabrera & Gutiérrez, 2018). Respecto a los competidores el comportamiento es casi similar al de Perú y esto se debe a que al ser productos tradicionales su nivel de especialización se ve reflejado en el comportamiento de los mercados.

El análisis del comportamiento del dinamismo de los países importadores estudiados es de vital importancia ya que representan la fuente de ingresos por ventas en el extranjero y, para Perú, China se consolida como el principal mercado destino de los productos mineros estudiados debido a que la inversión extranjera directa en el sector minero en el Perú ha aumentado (Amos, 2013) ya que China tiene un plan nacional para fomentar el apoyo de la extracción de minerales metálicos en el mundo, especialmente en Latinoamérica (Kryukov et al., 2020) y todos estos factores impactan directamente en beneficio de los sectores de educación, salud e infraestructura (Landa, 2017).

De acuerdo a los resultados, Perú, a través de la matriz, pone en evidencia un alto grado de especialización y competitividad en el sector analizado. Investigadores como Lacayo y Morales (2007), Morales et al. (2008) y Guevara y Morales (2018) evidenciaron la efectividad de la matriz mejorada para un mejor análisis de la competitividad en sus publicaciones científicas realizadas en distintos sectores productivos y para autores como Porter (1991) que definen a la competitividad como estar un paso delante de la competencia, esta matriz permite analizar y comparar de manera gráfica dicha competitividad entre los países y por categoría.

Para el análisis es importante estudiar en conjunto el crecimiento tanto del valor como del volumen de las exportaciones para evitar errores en la interpretación de los datos (Lacayo & Morales, 2007) como se muestra en la Tabla 2. Cuando se hace esto, es evidente que en todas las categorías hubo un aumento en los precios al igual que hubo un incremento en el volumen de exportación con la excepción de Cobre Refinado, en la que hubo un ligero decrecimiento debido al retroceso de los mercados destino. Asimismo, el incremento medio anual en valor es mayor que el correspondiente al volumen de exportaciones en todas las categorías. Los resultados del análisis de valor y volumen de las exportaciones peruanas reconfirman la información obtenida del estudio de especialización, estructura exportadora y competitividad.

Tabla 2. Promedio anual de crecimiento de las exportaciones peruanas (2010-2019).

Categoría	Promedio anual de crecimiento (%)	
	Volumen	Valor
Cobre	12.10	13.70
Oro	0.70	1.20
Cinc	2.75	6.40
Cobre Refinado	-3.30	0.30
Hierro	10.40	26.30

Fuente: Elaboración propia, basado en estadísticas del ITC-Trade Map.

Esta investigación se centró en el periodo 2010 a 2019, considerando que es la última década disponible en la base de datos del ITC-Trade Map para un análisis más actualizado. Una de las principales limitaciones en la presente investigación es que no todos los países mantienen relaciones comerciales en los mismos productos o categorías bajo análisis, por ello la investigación se limitó a la relación comercial entre países exportadores y países importadores con la misma data disponible para un análisis correcto y sin sesgos. Es importante mencionar que también existe una explotación minera intensa e informal, especialmente con el oro en la región de Madre de Dios, que no se contabiliza dentro de los datos oficiales del estado u organismos internacionales (Soto et al., 2020) lo que podría restar cierto grado de competitividad en el análisis. Así mismo, creemos que el gobierno tiene la obligación de que el desarrollo de la producción minera sea positiva y se enfoque a los mercados con dinamismo positivo y en crecimiento, pero también de manera responsable con las comunidades (Himley, 2011) y el medio ambiente, evitando una contribución al cambio climático en las principales ciudades de explotación (Bulege-Gutiérrez & Custodio, 2020).

5. Conclusiones

Después de realizar el análisis de competitividad a los principales productos mineros de exportación peruana y compararlos con sus competidores directos en los mercados destinos más importantes de cada categoría, podemos concluir que Perú evidenció una alta competitividad en todas las categorías estudiadas, aunque según los indicadores de especialización hubo categorías con ligero decrecimiento en sus niveles de competitividad; Perú logra ganar competitividad en varios países con dinamismo positivo y en otros mantener sus niveles de competitividad por encima de sus competidores. Así mismo podemos concluir que los métodos estudiados y en especial la matriz de competitividad modificada es muy útil para el procesamiento de datos y la contrastación de la competitividad entre los países y categorías bajo análisis.

El análisis del comportamiento de los mercados puede ser de mucho interés para sectores privados, así como se mencionó que China tiene fijadas sus inversiones mineras en Latinoamérica. Otros países pueden utilizar este estudio como guía para su análisis de inversión.

Esperamos que la información difundida en la presente investigación sirva como referencia para plantear mejoras en las decisiones públicas por las entidades encargadas, ya que se evidenció que los mercados destinos de la categoría Cobre, que tienen un decrecimiento, Perú logra ganar competitividad y lo mismo en la Categoría Cobre Refinado. Promover e incentivar estas categorías como una forma generar mayores ingresos para el país es conveniente para todos los sectores involucrados.

Como recomendación para futuras investigaciones, consideramos oportuno extender este análisis a otros sectores peruanos para conocer su competitividad, ya que la principal contribución del presente artículo es que pone en evidencia un instrumento muy útil para analizar un producto o grupo de productos de un país y compararlos con otros países o bloques económicos que realicen las mismas actividades de comercio internacional, permitiendo a entidades públicas y privadas tomar decisiones respecto a los productos o categorías estudiados.

Referencias

Addison-Smyth, D. (2005). Ireland's revealed comparative advantage. *Central Bank of Ireland Quarterly Bulletin*, *1*, 101-114.

Amos, I. (2013). El caso de Shougang : comparando la minería china y occidental en el Perú. *Revista de Ciencias Sociales*, *40*(73), 103-142. https://doi.org/https://doi.org/10.21678/apuntes.73.689

Asencios, L.V. (2020). Paradoja de la minería y pobreza en el Perú. *Revista Conciencia Epg*, *1*(1), 77-84. https://doi.org/https://doi.org/10.32654/CONCIENCIAEPG.1-1.7

Balassa, B. (1965). Trade liberalisation and "revealed" comparative advantage. *The Manchester School*, *33*(2), 99-123.

Baleevskikh, A.S., & Galeev, M.M. (2020). Possible export development scenario of agricultural products of Russia. *Revista Amazonia Investiga*, *9*(28), 439-450. https://doi.org/10.34069/ai/2020.28.04.49

Bonifaz, J.L., & Mortimore, M. (1999). *Colombia : un CANálisis de su competitividad internacional*. Naciones Unidas. https://repositorio.cepal.org/handle/11362/4657

Bulege-Gutiérrez, W., & Custodio, M. (2020). Cambio climático y retroceso glaciar en la Cordillera Huaytapallana , Perú Climate change and glacier retreat in the Huaytapallana. *Tecnología y Ciencias del Agua*, *11*(2), 229-261. https://doi.org/https://doi.org/10.24850/j-tyca-2020-02-06

Cabrera, E.A., & Gutiérrez, K.M. (2018). *Concentración-diversificación de las exportaciones de minerales del Perú a nivel de destino: Un análisis empírico (tesis de licenciatura)*. Universidad Privada Antonio Guillermo Urrelo.

Cano, N.A., Hasenstab, C., & Velasquez, H.I. (2020). Exergy life cycle assessment indicators in colombian gold mining sector. *Journal of Sustainable Mining*, *19*(3), 150-165. https://doi.org/https://doi.org/10.46873/2300-3960.1013

Contreras, C. (1994). La Minería en la Historia del Perú. *América Latina en la Historia Económica*, *1*(01), 33-44. https://doi.org/https://doi.org/10.18232/alhe.v1i01.142

Daulika, P., Peng, K.-C., & Hanani, N. (2020). Analysis on Export Competitiveness and Factors Affecting of Natural Rubber Export Price in Indonesia. *Agricultural Social Economic Journal*, *20*(1), 39-44. https://doi.org/10.21776/ub.agrise.2020.020.1.6

del Valle, M. (2020). Política minera comparativa entre argentina y ecuador. *Revista Pós Ciências Sociais*, *16*(32), 11-143. https://doi.org/http://dx.doi.org/10.18764/2236-9473.v16n32p117-143

Freitas, F., & Bielschowsky, R. (2018). La búsqueda de China de recursos naturales en América Latina. *Cepal Review*, *126*, 9-29.

Guevara, W., & Morales, C. (2018). Analysis of the export competitiveness of the main products exported by Chile and Peru. *Journal Globalization, Competitiveness and Governability*, *12*(2), 38-56. https://doi.org/10.3232/GCG.2018.V12.N2.02

Gutiérrez, M.A., & Herrera, S.C. (2020). *Factores comerciales que influyeron en las exportaciones de oro en bruto con destino al mercado suizo bajo el marco del TLC entre Perú y el EFTA durante el período 2009-2018 (tesis de licenciatura)*. Universidad Peruana de Ciencias Aplicadas. http://hdl.handle.net/10757/651626

Himley, M. (2011). El género y la edad frente a las reconfiguraciones en los medios de subsistencia originadas por la minería en el Perú. *Apuntes. Revista de Ciencias Sociales*, *38*(68), 7-35. https://doi.org/https://doi.org/10.21678/apuntes.68.618

ITC-TradeMap. (2020). *International Trade Center, Trade statistics for international business development*. Consultado el 26 de noviembre de 2020.

Ivancevich, J., & Lorenzi, P. (1997). *Gestión de calidad y competitividad* (2da. Edición). Madrid. McGraw-Hill Interamericana de España.

Kryukov, V.A., Yatsenko, V.A., & Kryukov, Y.V. (2020). Rare Earth Industry - How to Take Advantage of Opportunities. *Mining Industry (Gornay Promishlennost)*, *5*, 68-84. https://doi.org/http://dx.doi.org/10.30686/1609-9192-2020-5-68-84

Labarca, N. (2007). Theoretical Considerations of Managerial Competitiveness. *Omnia*, *13*(2), 158-184.

Lacayo, R., & Morales, C. (2007). An analysis of the performance of chilean agricultural exports (1994-2004). *Interciencia*, *33*(5), 296-302.

Landa, Y. (2017). Renta extractiva y la minería del cobre en el Perú. *Problemas Del Desarrollo. Revista Latinoamericana de Economía*, *189*(48), 141-168. https://doi.org/https://doi.org/10.22201/iiec.20078951e.2017.189.57292

Laursen, K. (2015). Revealed comparative advantage and the alternatives as measures of international specialization. *Eurasian Business Review*, *5*(1), 99-115. https://doi.org/10.1007/s40821-015-0017-1

Mandeng, O.J. (1991). Competitividad internacional y especialización. *Revista de La CEPAL*, *45*, 25-42. https://doi.org/10.18356/091b9e1e-es

Manrique, P.I., & Arce, G. (2019). La Minería en el Perú de hoy. *Veritas*, *20*, 17-19. https://doi.org/https://doi.org/10.35286/veritas.v20i2.238

Morales, K.J., Pertuz, V., Pérez, A., & Vega, A. (2020). Aprendizaje organizacional en una empresa minera en Colombia. *Revista Venezolana de Gerencia*, *25*(89), 213-228. https://doi.org/http://dx.doi.org/10.37960/revista.v25i89.31378

Morales, C., Lacayo, R., & Sfeir, R. (2008). An analysis of the performance of Chilean aquacultural exports (1995-2005). *Interciencia*, *33*(12), 875-881.

Oyama, K. (2020). Applicability Estimation of Bioleaching into Copper Mining Industry : comparison between Mining-Developed and Developing Countries. *Evergreen*, *7*(2), 195-201. https://doi.org/https://doi.org/10.5109/4055216

Paredes, E.A. (2018). *Exportaciones peruanas de Cobre a China y su impacto en las exportaciones nacionales de Cobre, periodo 2010-2017 (tesis de licenciatura)*. Universidad Cesar Vallejo. https://repositorio.ucv.edu.pe/bitstream/handle/20.500.12692/52048/Jaimes_VCM-SD.pdf?sequence=1&isAllowed=y

Porter, M.E. (1985). *Ventaja Competitiva (Creación y sostenimiento de un desempeño superior)*. México, D.F.: Grupo editorial Patria.

Porter, M.E. (1991). *Competitive Advantage Creating and Sustaining Superior Performance* (The Free Press (ed.)). New York: Macmillan.

Quispe, O.C. (2017). *Comercio internacional y competitividad de Cobre Refinado en forma de cátodo y de secciones de cátodo peruano 2008-2016 (tesis de licenciatura)*. Universidad Cesar Vallejo. file:///C:/Users/MUNDO-PC/Downloads/marketing digital 2.pdf

Simatupang, P. (2016). Sources of Major Agricultural Export Earnings Stability in Indonesia. *Journal Agro Ekonomi*, *7*(1), 47-60.

Soto, A.F., Leguía, J.J., & Bustamante, J. D. (2020). Influencia mineragráfica en la recuperación de oro en los procesos metalúrgicos de la Minera Qero´s Gold de Paucartambo- Cusco. *Revista del Instituto de Investigación de la Facultad de Geología, Minas, Metalurgia y Ciencias Geográficas*, *23*(46), 139-146. https://doi.org/http://dx.doi.org/10.15381/iigeo.v23i46.19190

Suárez, G.H., & Vilca, P.J. (2020). *Análisis del control de las principales variables del proceso de flotación del cobre (tesis de licenciatura)*. Universidad Católica San Pablo.

Utkulu, U., & Seymen, D. (2004). Revealed Comparative Advantage and Competitiveness : Evidence for Turkey vis-à-vis the EU / 15. *European Trade Study Group 6th Annual Conference, ETSG 2004*, 1-26.

Vega-Centeno, P. (2011). Los efectos urbanos de la minería en el Perú: del modelo de Cerro de Pasco y La Oroya al de Cajamarca. *Apuntes. Revista de Ciencias Sociales*, *38*(68), 109-136. https://doi.org/https://doi.org/10.21678/apuntes.68.621

Velasquez, H.I., Orozco, C.A., Hasenstab, C., & Cano, N.A. (2019). Evaluation of the extractive gold process: open-pit mining through exergy analysis. *Journal of Sustainable Mining*, *19*(3), 166-181. https://doi.org/https://doi.org/10.46873/2300-3960.1014

Velásquez, G.Y. (2020). Problemas medioambientales de la minería aurífera ilegal en Madre de Dios (Perú). *Observatorio Medioambiental*, *23*, 229-241. https://doi.org/http://dx.doi.org/10.5209/OBMD.73177

Yacoub, C., Vos, J., & Boelens, R. (2016). Territorios hidro-sociales y minería en Cajamarca, Perú. Monitoreos ambientales como herramientas políticas. *Agua y Territorio*, *7*, 163-175. https://doi.org/10.17561/at.v0i7.2971

Yu, C., & Qi, C. (2015). Research on the Complementarity and Comparative Advantages of Agricultural Product Trade between China and CEE Countries - Taking Poland, Romania, Czech

Republic, Lithuania and Bulgaria as Examples. *Journal of Service Science and Management*, *8*, 201-208. https://doi.org/http://dx.doi.org/10.4236/jssm.2015.82022

Yulhar, T.F.M., & Darwanto, D.H. (2019). Competitiveness of Indonesian Crude Coconut Oil Export in Destination Countries. *Agro Ekonomi*, *30*(2), 125-138. https://doi.org/http://doi.org/10.22146/ae.49014

Zárate, M.R. (2019). *Impactos económicos de la disminución de la inversión privada en el sector minero y su repercusión en la economía, en el periodo 2013- 2016 (tesis de licenciatura)*. Universidad Nacional Pedro Ruiz Gallo. http://repositorio.unprg.edu.pe/bitstream/handle/UNPRG/3424/BC-TES-TMP-2247.pdf?sequence=1&isAllowed=y

REVISTA DE MÉTODOS CUANTITATIVOS PARA LA ECONOMÍA Y LA EMPRESA (33). Páginas 285-309.
Junio de 2022. ISSN: 1886-516X. D.L: SE-2927-06.
www.upo.es/revistas/index.php/RevMetCuant/article/view/3946

Análisis comparativo de modelos de planificación agregada. El caso de las empresas manufactureras colombianas

RAHMER, BRUNO DE JESÚS
Fundación Universitaria Tecnológico Comfenalco (Colombia)
Correo electrónico: brunodejesus.2509@gmail.com

GARZÓN SAÉNZ, HERNANDO
Fundación Universitaria Tecnológico Comfenalco (Colombia)
Correo electrónico: hnando2001@gmail.com

GARZÓN SOLANA, JOSÉ MANUEL
Fundación Universitaria Tecnológico Comfenalco (Colombia)
Correo electrónico: ingjosemsolanag@gmail.com

RESUMEN

La intención primaria del presente artículo es realizar un análisis comparativo entre estrategias de planeación de la capacidad de firmas pertenecientes a la industria manufacturera colombiana. Los planes erigidos son determinados a partir la aplicación de sofisticadas técnicas de programación matemática restringida. Se concluye, a partir de los resultados obtenidos, que la alternativa más fiable para resolver el problema de planificación agregada corresponde a aquella basada en el método de transporte, dado que permite satisfacer los requerimientos de la demanda sin transgredir las limitantes del sistema productivo y, por supuesto, las restricciones establecidas por la alta dirección. La implementación del plan permite anticipar decisiones que respectan a la programación de existencias en stock, la determinación del tamaño de fuerza laboral, así como también, en lo concerniente al dimensionamiento de las capas de inversión. La conjunción de todos estos factores será un determinantes clave para ajustar la tasa de respuesta de la empresa frente a un entorno mercantil naturalmente variante y especializado. El plan agregado, en última instancia, permite coordinar las operaciones en el orden táctico y tiene como objetivo ulterior, la proyección y suministro de los recursos necesarios para establecer un óptimo equilibrio entre la oferta y la demanda.

Palabras clave: modelo de coeficientes gerenciales, planeación agregada, programación por metas, programación entera mixta, programación lineal, pronóstico.
Clasificación JEL: 65K05; 62P30; 90C11, 90C29, 90C90
MSC2010: L6; M5; M10.

Artículo recibido el 15 de marzo de 2019 y aceptado el 20 de agosto de 2021.

Comparative analysis of agreggate planning models. The case of the colombian manufacturing companies

ABSTRACT

The primary intention of this article is to perform a comparative analysis between capacity planning strategies of Colombian manufacturing companies. The plans are designed based on the application of mathematical programming techniques. From the results obtained, it is concluded that the most reliable alternative to solve the aggregate planning problem is that based on the transportation method, since it satisfies the requirements of the demand and does not violate the restrictions of the production system. The implementation of the plan allows to program stocks in stock, the size of the workforce, as well as the investment levels. These factors are important to adjust the response rate of the company in a specialized market. The aggregate plan coordinates tactical operations and projects the necessary resources to establish an optimal balance between supply and demand.

Keywords: aggregate planning, goal programming, mixed intenger programming, linear programming, forecasting, management coefficients.
JEL classification: 65K05; 62P30; 90C11, 90C29, 90C90
MSC2010: L6; M5; M10.

1. Introducción

La apertura y especialización de los mercados en el actual siglo ha forzado a las empresas a aunar esfuerzos para satisfacer las necesidades de los consumidores, agentes racionales, que además de integrar este complejo entorno en auspicios de la maximización de la utilidad, son los rectores de su curso (Garzón, Solana & Rahmer, 2017). El éxito de la organización se verá condicionado en gran medida, por su capacidad para comprender las dependencias operativas y adaptarse a las dinámicas inherentes al entorno mercantil (Gansterer, 2015). Esto implica la reconstrucción, reconversión y encauzamiento de procesos internos para el alcance de mejoras en el desempeño operacional. Por las razones anteriormente expuestas, se torna en una labor impostergable, la formulación de planes de ventas y operaciones, que le permitan a la firma responder a las fluctuaciones de la demanda y superar las restricciones de su sistema productivo. Los elementos anteriores constituyen la base para el establecimiento de derroteros que faciliten la obtención sistemática de ventajas competitivas sostenibles en la progresión temporal. En esencia, la planificación de las ventas y de las operaciones está inextricablemente vinculada la dirección y control sistemático de los procesos de transformación de insumos en servicios y bienes terminados que son ofertados a clientes internos y externos (Krajewski, Ritzman & Maholtra, 2008).

Los sistemas de planificación y gestión integrados suelen ser configurados en función de una estructura decisional jerarquizada y segmentada en distintos niveles: el estratégico, que define marcos referenciales no específicos y objetivos a concretar en el largo plazo; el táctico, que involucra a las áreas funcionales de la empresa y fija un margen de actuación evaluado a medio plazo; y en el último estadio, el nivel operacional, en el que se ejecutan actividades puntuales en el corto plazo, a partir de las directrices proporcionadas por los niveles superiores (Albornoz, Bravo & Ortiz-Araya, 2015).

La planificación de ventas y operaciones, que implica distintos niveles de agregación, se localiza en el nivel táctico del proceso jerárquico de planificación, y suministra un marco operativo que asiste a la toma de decisiones en contextos fabriles y de servicios (Arredondo et al., 2017), la determinación del nivel general de la capacidad y la disposición de recursos financieros y de capital, amén de posibilitar el ajuste de los componentes de producción. Esto, con el objetivo de pergeñar estrategias direccionadas a satisfacer las demandas futuras, asumiendo el costo mínimo posible. (Mékidiche, Mouslim & Sahed, 2013; Noegraheni & Nuradli, 2016). De esta forma, se enlazan los objetivos estratégicos y sus directrices generales con los procesos internos, propiciando simultáneamente la vinculación sinérgica de las áreas funcionales que constituyen la empresa.

En los apartados posteriores, se presentan los resultados de un caso de estudio en el que se revela la aplicación de los principios teóricos que gobiernan el proceso de planificación agregada y la consecuente provisión de soluciones reproducibles en el contexto empresarial de la ciudad de Cartagena de Indias.

2. Metodología

En consonancia con lo subrayado anteriormente, se estima la demanda agregada durante el periodo referencial. Para tal efecto, se apela al uso de sendas técnicas de proyección puramente cuantitativas, que utilizan como input los datos históricos disponibles a fin de ajustar la capacidad operativa y garantizar la entrega oportuna de los volúmenes de productos solicitados por los consumidores finales. La información anterior servirá como entrada para la confección del plan de ventas y operaciones.

Se consideran dos tipos de alternativas para el desarrollo del plan agregado: las alternativas reactivas, que conjuntan las acciones conducentes a hacer frente a los requerimientos de la demanda, y las alternativas dinámicas, que integran las acciones direccionadas a modificar la demanda real. En el marco de este análisis, se debe hallar la carga del proceso, es decir, el trabajo liberado o planificado en el periodo referencial (Chapman, 2006) y consecutivamente se debe contemplar la posibilidad de generar modificaciones sobre el sistema, con el objeto de conciliar la disimilitud entre la capacidad disponible y la capacidad requerida; por otro lado, se contempla la alternativa opuesta: mantener inalterada las condiciones del sistema.

Para la construcción de los planes combinados se disponen de algunas técnicas matemáticas reportadas en la literatura especializada. En el primer apartado se diseña un plan agregado de producción expresado como un programa entero mixto. Asimismo, se traerá a colación el método de transporte que propone como origen, los binomios formados por la alternativa de producción y los periodos de referencia, considerados como destinos a los que se asignará esta producción. Posteriormente, se introduce la formulación de un modelo sofisticado de programación multiobjetivo que incorpora en su taxonomía funcional múltiples metas conmensurables y compatibles entre sí, ordenadas según un orden de prelación. Estos objetivos corresponden a la determinación de la mano de obra, el nivel de inventario y producción durante un período de planificación intermedio. El último modelo reportado conocido ampliamente como "modelo de coeficientes gerenciales" parte de la asunción que las decisiones de planficación en periodos antecedentes fueron consistentes y racionales.

Finalmente se muestra un análisis comparativo de diversos planes agregados de producción que incluyen las previsiones de demanda, las necesidades de material, utilización de instalaciones, uso de equipos y fuerza laboral (Madadi & Yew Wong, 2013).

3. Resultados

3.1. Diseño del modelo de pronósticos

El pronóstico de ventas corresponde al eslabón inicial del proceso de planificación y control de la producción. Se aspira, en este apartado, a seleccionar entre diversas alternativas, un modelo proyectivo consistente y superior en potencial predictivo, para reducir la incertidumbre inhherente al dimensionamiento anticipativo de los requerimientos de producción. La previsión del volumen de ventas esperado en un plazo específico, es una tarea indispensable para la consecución de los propósitos centrales del presente caso de estudio, dado que es la fase inicial todo sistema de planeación. Una estimación de la demanda con un alto margen de error, conducirá inexorablemente a la producción de existencias por debajo de las expectaciones de demanda o, por el contrario, a la generación excesiva de bienes.

Se compendia en la Tabla 1 información que corresponde a la demanda real de los últimos cinco años. De acuerdo a los lineamientos propuestos por Taha (2012), si el coeficiente de variación de los datos reales de la demanda es superior a 20% se presume entonces que ésta es de tipo probabilístico. Si además de ello, existe una diferencia escrutable entre los coeficientes de variación para cada periodo, se conjetura que la demanda no es de tipo estacionaria tal y como se percibe en la Tabla 2. Esta clasificación de patrones de demanda es de singular importancia, pues antecede la fase de selección del modelo de pronóstico. Es indiscutible el hecho de que el comportamiento de los datos es fluctuante, por lo que se hipotetiza que la serie es extraída de un grupo de variables aleatorias que siguen cierta distribución de probabilidad conjunta, a veces indeterminable en la práctica.

Tabla 1. Caracterización de la demanda.

Periodo	Media	Desviación Estándar	Coeficiente de Variación
Enero	234	21,3	19,83%
Febrero	222	20,4,3	28,78%
Marzo	263	27,8	20,29%
Abril	158	31,2	25,77%
Mayo	189	29,7	23,58%
Junio	209	35,6	16,12%
Julio	234	40,1	29,36%
Agosto	222	29,1	19,08%
Septiembre	263	29,2	20,48%
Octubre	258	28,5	22,13%
Noviembre	289	21,2	19,89%
Diciembre	209	32,9	19,46%

Fuente: Elaboración propia.

3.1.1. Identificación del modelo

En esta fase se determinan los órdenes de los componentes autoregresivos, de integración y de medias moviles que subyacen en el modelo en cuestión. Algunos elementos fundamentales que soportan el proceso de identificación del modelo son las funciones de autocorrelación total y parcial, pues a partir de ellas, se realiza un análisis comparativo entre los correlogramas determinados para la serie temporal y los correlogramas de los modelos teóricos expuestos en la literatura. Desde una perspectiva estrictamente analítica, se detecta autocorrelación si los elementos que se encuentran fuera de la diagonal principal de la matriz varianza-covarianza son no nulos. Por ello, se rechaza la hipótesis de que los errores son inconexos, lo que implica que están influidos por errores previos. La matriz de varianza-covarianza definida positiva y simétrica, queda expresada de la siguiente manera:

$$E[\mu\mu'] = \begin{bmatrix} {\sigma^2}_1 & \mathrm{Cov}(\mu_1,\mu_2) & \dots & \mathrm{Cov}(\mu_1,\mu_k) \\ & {\sigma^2}_2 & \dots & \mathrm{Cov}(\mu_2,\mu_k) \\ & & \dots & \vdots \\ & & & {\sigma^2}_3 \end{bmatrix} = \begin{bmatrix} {\sigma^2}_1 & \neq 0 & \dots & \neq 0 \\ & {\sigma^2}_2 & \dots & \neq 0 \\ & & \dots & \vdots \\ & & & {\sigma^2}_3 \end{bmatrix} = \sigma^2\Omega \qquad [1]$$

Por lo que es incuestionable que:

$$E[\mu_k, \mu_{k-t}] \neq 0 \; \forall s = 1,2, \dots n$$

$$E[\mu_k]^2 = {\sigma^2}_k$$

En ese orden de ideas, defínase la función de autocorrelación entre una variable y_t y un retardo y_{t-k}:

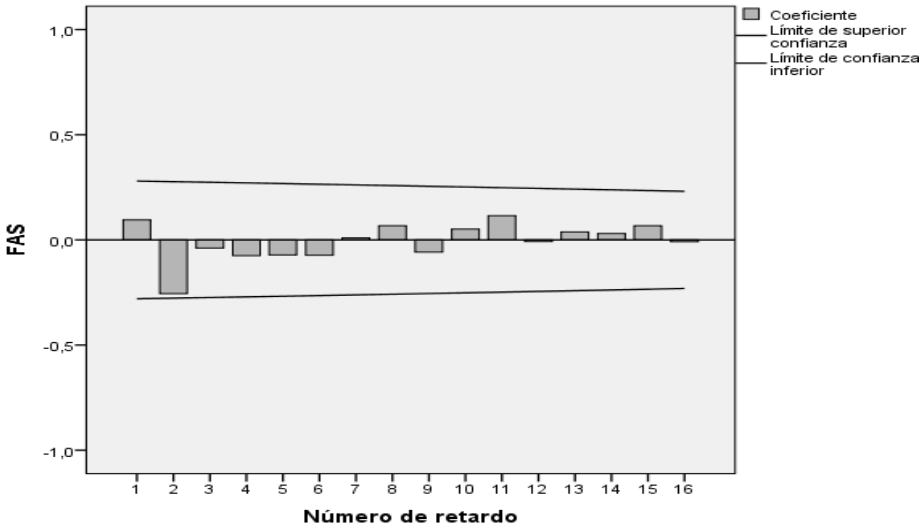
$$p_1 = \frac{\mathrm{cov}(y_t, y_{t-k})}{\sqrt{\mathrm{var}(y_t) * \mathrm{var}(y_{t-k})}}$$

Mientras que el estimador muestral de la función de autocorrelación está dado por:

$$r_k = \sum_{t=1}^{n-k} (y_t - \bar{y}) \,/\, \sum_{t=1}^{n} (y_t - \bar{y})^2$$

La Figura 1 es la representación gráfica de la función de autocorrelación simple. Se evidencia que ninguno de los coeficientes de autocorrelación, son significativamente distintos de cero a un 5% de significancia y que no existe ningún patrón descifrable entre ellos.

Figura 1. Gráfico de correlaciones.

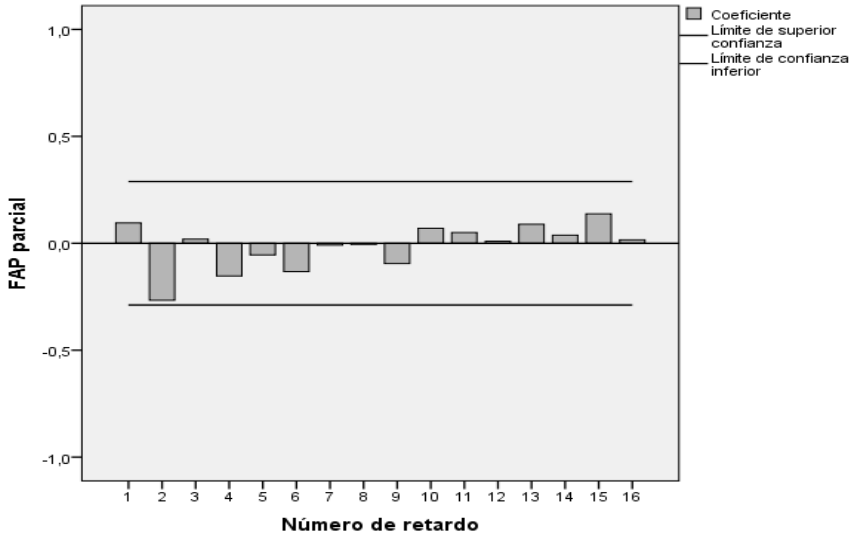


Fuente: Elaboración propia.

Se muestra en la Figura 2 la función de autocorrelación parcial que cuantifica la correlación entre las observaciones y_t y y_{t-k} de la serie temporal suprimiendo el efecto de las variables intermedias y_{t-1}, y_{t-2},…y_{t-k+1}. Un análisis sucinto de los gráficos aquí consignados permitirá modificar, en caso tal de que se considere perentorio, el orden del modelo seleccionado. Se evidencia, al igual que el correlograma anterior, una alternancia entre valores positivos y negativos que no exceden los límites de confianza (que son asintóticos) y, por consiguiente, la ausencia de correlación parcial significativa entre las observaciones a un 95% de confianza. Por consiguiente, la estructura de correlaciones que domina los correlogramas parece ser adecuada para proseguir a la fase de estimación paramétrica.

Con el objeto de detectar formalmente la estacionariedad de la serie (esto es, comprobar que su distribución conjunta permanece invariable en la progresión temporal) se procede a ejecutar el test de Dickey-Fuller en su versión ampliada. La hipótesis nula es que la serie tiene raíz unitaria, esto es, $H_0: \gamma = 0$, contra la alternativa $H_0: \gamma < 0$. En caso de verificarse la ausencia de estacionariedad (es decir, rechazar la hipótesis de existencia de raíz unitaria), lo lógico sería transformar la serie de tiempo mediante la aplicación de diferencias.

Figura 2. Gráfico de correlaciones parciales.



Fuente: Elaboración propia.

En la Tabla 2 se proporcionan los resultados de la aplicación de la prueba Dickey-Fuller aumentada.

Tabla 2. Resultados de la Prueba de Dickey-Fuller aumentada.

Test de Dickey-Fuller Aumentado			
Valor T	-6.089401	99% Confianza	-4.165756
Valor P	0.0000	95% Confianza	-3.508508
		90% Confianza	-3.184230
Test de Durbin-Watson (95% de Confianza)		1,91021	

Fuente: Elaboración propia.

Se confirma pues, que la serie es estacionaria dado que el p-valor asociado al test es menor que 0,05 y se concluye que no hay presencia de raíz unitaria en el polinomio autorregresivo, es decir, que la serie está integrada en orden cero $I(0)$. El resultado se valida en tanto que el estadístico de Durbin Watson es considerablemente menor que 2, reflejando ausencia de correlación serial. Por tanto, no se pueden colocar en tela de juicio, las conclusiones obtenidas en este inciso.

3.1.2. Estimación y Diagnóstico del modelo

El supuesto sobre el que se asienta la estimación del modelo en cuestión es que que el vector $Y = [y_1, y_2, y_3 \dots y_n]'$ es condicionalmente normal con media μ y matriz de covarianzas $\sum[\mathrm{Cov}(y_q, y_n)]_{nxn}$ la serie Y_t y, por consiguiente, su densidad condicionada viene dada por:

$$f(y_t|Y_{t-1}) = \frac{1}{2\pi\,\mathrm{Var}(y_t|Y_{t-1})^{1/2}} e^{\left\{-\frac{[y_t - E(y_t|Y_{t-1})]^2}{2\mathrm{Var}(y_t|Y_{t-1})}\right\}}$$

Para efectos de estimación del modelo se emplea el método de máxima verosimilitud y así se halla un conjunto de parámetros que maximizan la función de verosimilitud de la serie temporal obteniéndose además, los errores estándares y residuos del modelo. Al analizar la evolución cronológica de la variable "demanda" se demuestra empíricamente que el mejor modelo para pronosticar el comportamiento futuro de la serie temporal es una función lineal de valores rezagados y errores aleatorios del tipo $Y_t = \emptyset_1 Y_{t-1} + \cdots + \emptyset_n Y_{t-n} + \alpha_t - \varphi_1 \alpha_{t-1} - \cdots - \varphi_m \alpha_{m-1}$.

La Tabla 3 compendia un análisis de la significancia estadística de los parámetros estimados que componen el modelo. Se considera necesario desarrollar un proceso inferencial sobre los parámetros estimados en esta fase, para ajustar un modelo parsimonioso y con alta potencia predictiva. Para valores p inferiores al nivel de significancia, se aceptará como cierta la hipótesis de que un parámetro cualquiera no es estadísticamente distinto de cero y, por ello, no será admisible suprimirlo del modelo estimado. Se concluye, para este caso, que los términos autorregresivos de orden 1 y 2, el término de media móvil y la constante son significativos.

Tabla 3. Resumen de la estimación del modelo.

Parámetro	Estimado	Error Estándar	T	Valor-P
AR(1)	1,105	0,165	6,685	0,000
AR(2)	-0,506	0,172	-2,939	0,006
MA(1)	1,039	0,026	39,334	0,000
Constante	-1,9712			
Varianza estimada del ruido blanco	361,216			

Fuente: Elaboración propia.

Se mostrarán inmediatamente otros resultados en la Tabla 4 que constituyen un soporte objetivo para argüir que el modelo seleccionado es adecuado para pronosticar el comportamiento futuro de la demanda. En la siguiente fase se realiza una evaluación del modelo estimado.

Tabla 4. Comparativa con modelos alternativos.

MODELO	RMSE	MAE	MAPE	Criterio de información de Akaike	Criterio de Hannan-Quinn	Criterio de Schwarz-Bayesian
Caminata Aleatoria con drift	37,2524	26,3258	22,3426	7,73543	7,91222	8,20323
Tendencia lineal	30,6036	20,6359	17,4906	7,3839	7,57542	7,89069
Tendencia exponencial	30,5955	20,4991	17,0498	7,38338	7,57489	7,89016
Promedio móvil simple (2 términos)	37,5641	24,5431	21,5512	7,7521	7,92888	8,2199
Suavización exponencial simple	32,088	22,1314	19,3918	7,43697	7,61375	7,90477

Suavización exponencial de Brown	33,6826	22,0106	19,4763	7,53396	7,71075	8,00176
Suavización exponencial de Holt	33,1372	21,2849	18,2797	7,54298	7,7345	8,04977
Suavización exponencial de Winter	30,8095	23,9324	21,4585	6,98065	7,02484	7,0976
ARIMA(2,0,1) con constante	10,5989	15,3999	**13,4802**	6,30048	6,38887	6,53438
ARIMA(1,0,3)x(0,1,2) 12 con constante	14,184	16,5546	14,4343	6,62138	6,70977	6,85528

Fuente: Elaboración propia.

Es un factor crítico evaluar con relativo acierto, el desempeño proyectivo de los modelos, por lo que se hace imperioso recurrir al uso de diferentes indicadores cuantitativos que estiman la disimilitud entre los valores pronosticados y los valores reales de la serie temporal. Se optará por elegir aquel modelo predictivo que posea el menor porcentaje de error medio (MAPE), indicador que cuantifica en términos porcentuales, el valor medio del error absoluto con respecto al valor real de la variable de estudio. El MAPE parece ser una medida de desempeño más intuitiva y práctica que la raíz cuadrática media del error (RMSE), puesto que no requiere la media para dimensionar la magnitud del error. Está dado por la siguiente fórmula:

$$\text{MAPE} = \frac{1}{\text{T}}\left[\sum_{\text{t=1}}^{\text{T}} \frac{\text{Y}_{\text{ts}} - \text{Y}_{\text{ta}}}{\text{Y}_{\text{ta}}}\right] * 100\%$$

Nótese que el Modelo ARIMA (2,0,1) con constante tiene un desempeño superior a todos los demás modelos incluso si se toman como referencia, otras medidas de calidad, como lo son: los criterios de Información propuestos por Akaike, Schwarz y Hannan y Quinn, que comparan el beneficio de tener más información en términos de la reducción de la varianza de las innovaciones, con el costo de obtener tal beneficio en términos de la pérdida de grados de libertad en la estimación (Solera, 2000).

El criterio de Schwarz-Bayesian que penaliza parámetros libres y depende del tamaño muestral, es calculado como: $\text{SBIC} = 2\ \text{Ln}\ (\text{RMSE}) + \frac{\text{p Ln(n)}}{\text{n}}$; el criterio de información de Akaike, que incluye una penalización en forma de función creciente del número de términos estimados se calcula como sigue: $\text{AIC} = 2\ \text{Ln}\ (\text{RMSE}) + \frac{2\text{c}}{\text{n}}$. Según este criterio, el modelo seleccionado minimizará el cuadrado medio del error y tendrá la particularidad de poseer pocos coeficientes con respecto a la cantidad de datos que se tienen a disposición. Por último, el criterio de Hannan-Quinn que también incluye penalizaciones para la cantidad de parámetros estimados se determina mediante la siguiente fórmula: $\text{QC} = 2\ \text{Ln}\ (\text{RMSE}) + \frac{\text{p Ln(Ln(n))}}{\text{n}}$. Todos estos criterios de información proveen un soporte adicional relevante para la selección de un modelo que explique apropiadamente el comportamiento de la variable dependiente. Tal modelo será aquel que minimice el valor de los criterios en cuestión. Por observación directa, se concluye el modelo $\text{ARIMA}(2,0,1)$ tiene asociado los valores más bajos, por lo que se afirma que la capacidad predictiva de este modelo es sobresaliente y superior a los alternativos.

3.1.3. Pronósticos

En la Tabla 5 se encuentran los valores pronosticados de las ventas para el periodo referencial con los límites de predicción a un 95% de confianza. Los datos aquí reportados serán utilizados para el diseño de los modelos alternativos de planeación agregada.

Tabla 5. Pronósticos generados.

Periodo	Pronóstico	Límite Inferior	Límite Superior
1	234	220,191	254,277
2	222	204,013	239,535
3	263	251,256	278,448
4	258	247,991	268,597
5	289	273,495	296,925
6	209	197,7915	215,2805

Fuente: Elaboración propia.

3.2. Diseño del plan agregado

Ante variaciones de la demanda, los niveles de producción esperados no pueden determinarse inmediatamente y por ello debe construirse un plan de producción alimentado por los pronósticos que haga coincidir la tasa de producción y la tasa de demanda. Los planes diseñados se delimitan en distintos horizontes temporales, en forma secuencial. Partiendo de un enfoque de arriba hacia abajo, el plan a largo plazo se desarrolla en primera instancia y sus decisiones surten de información al plan de plazo intermedio, que a su vez proporciona cúmulos de información para el diseño de planes cortoplacistas. El enfoque de abajo hacia arriba opera con una lógica contrapuesta a la señalada anteriormente (Sipper & Rober, 1998). El plan agregado de producción permite tomar decisiones sobre los volúmenes de producción, niveles de inventario, fuerza laboral, velocidad de trabajo y otras variables como las tasas de subcontratación y uso de horas extras. Para el diseño del plan agregado se toman como insumo los pronósticos generados en el apartado anterior e información relativa a los costos asociados a cada componente de la producción.

En general, los planes agregados de ventas y operaciones establecen objetivos eventualmente discordantes. Se anotan entre ellos: la minimización de costos asociados a la producción de bienes tangibles y/o prestación de servicios y paralelamente la maximización de la utilidad económica; la reducción de fluctuaciones en las tasas de producción y en el tamaño de la fuerza laboral, así como también, en la utilización de la infraestructura física y maquinaria.

Por las razones anteriormente exhibidas es preferible contrastar diversos planes alternativos y seleccionar la estrategia de planificación que mejor se adapte a las necesidades organizacionales o satisfaga algún criterio de optimalidad. Se han propuesto entonces, los siguientes enfoques para efectuar el análisis comparativo entre los modelos de planeación agregada: un enfoque de programación entera mixta, partiendo del supuesto de que la función de costos es de tipo lineal y está compuesta por los costos de producción, contratación, despidos, manejo de inventarios y costos de desabastecimiento. Se plantean las restricciones correspondientes que dependen de las políticas de la empresa, normativa legal, la capacidad instalada y algunas otras limitaciones. Cabe señalar, que si

fuese posible capturar adecuadamente el conglomerado de variables que configuran el proceso productivo y si se poseyese un conocimiento exhaustivo de las condiciones del mismo, los enfoques de modelado aquí presentados ofrecerían, a priori, una panorámica descriptiva fiel a la realidad económica-empresarial.

Con frecuencia se referencian en la literatura especializada una gama de alternativas reactivas y dinámicas para acometer el problema de planificación agregada de la producción. En el presente caso de estudio es de sumo interés analizar cuatro estrategias fundamentales que pretenden absorber las fluctuaciones de la demanda.

La primera estrategia considerada es la *estrategia de ajuste*, consistente en la equiparación de la tasa de producción con la tasa de pedidos contratados y efectuar modificaciones en el tamaño de la fuerza laboral en función de la demanda en cada periodo. Puede objetarse la implementación de esta estrategia en tanto que no otorga la posibilidad de que la curva de aprendizaje permanezca invariable por la continua fluctuación de trabajadores. Esto produce un decrecimiento del ritmo de trabajo y un aumento de la incertidumbre en la masa laboral contratada.

La racionalidad de la estrategia catalogada como *uso de horas extras* es sumamente comprensible, pues implica el mantenimiento de una fuerza de trabajo constante y las tasas de producción se modifican vía ajuste de los turnos para satisfacer enteramente los requerimientos de la demanda. Esta estrategia procura evitar cambios innecesarios en la mano de obra, en contraste con la anterior.

La *estrategia de nivel*, por otra parte, implica conservar un nivel de fuerza laboral constante y una tasa de producción igualmente invariable. A lo largo del horizonte, la fluctuación de los niveles de inventario, postergación de ventas, o la no disponibilidad de bienes terminados suelen ser la norma. Los empleados se benefician con un horario estable a expensas de niveles de servicio a clientes potencialmente inferiores y la incursión de altos costos por concepto de mantenimiento de inventario. (Krajewski, Ritzman & Maholtra, 2008).

Finalmente, se evalúa una estrategia de *subcontratación*, que transfiere la responsabilidad de manufacturación de una porción delimitada de bienes tangibles a un agente externo para cubrir la demanda. Dentro de las desventajas de la subcontratación se enumeran: la posibilidad de que el contratista sea incapaz de garantizar la optimalidad del producto terminado, la exposición de información confidencial, pues implica una transferencia bidireccional de datos y en el peor de los casos, propiciar una atmósfera apta para el surgimiento de un nuevo competidor.

Se propone también, el diseño de un plan agregado, basado en la aplicación del método de Transporte de Programación Lineal. Esta técnica recoge en un tableau los costos acumulados de producción en tiempo normal, subcontratación y manejo de inventario en un horizonte de tiempo especificado previamente. Es preciso aclarar que, en numerosas circunstancias, no existe proclividad a ejecutar reformas estructurales en el sistema productivo y mucho menos si tales implican variaciones abruptas en el tamaño de la fuerza laboral. Por tal razón, resulta inevitable incluir cotas porcentuales o directas, de modo que las consideraciones que se deriven del modelo sean consecuentes con las políticas de la empresa; en caso tal de que no se llegue a un consenso, es posible prescindir de los resultados arrojados. Todas las estrategias de planificación están circunscritas dentro de dos nodos de decisión auto-excluyentes: absorber las fluctuaciones de la demanda y modificar la capacidad instalada en función de ésta, o en su defecto, suavizar las variaciones de la demanda en el horizonte de tiempo en el que se desarrolla el proceso de planeación. En la Tabla 6 se localizan los componentes de costos del plan de producción.

Tabla 6. Componentes de costos del plan de producción.

Componentes	Costos
Materiales	$130.000,00
Costo de mantenimiento del inventario	$2.000,00
Costo marginal del agotamiento de las reservas	$7.000,00
Costo marginal de la subcontratación	$10.000,00
Costo de contratación y capacitación	$1.800.000,00
Costo de despidos	$2.100.000,00
Horas de trabajo requeridas	6,0
Costo lineal	$5.000,00
Inventario Inicial	15
Costo del tiempo extra por empleado	$6.500,00
% Reservas de seguridad	10%
Horas diarias de trabajo	8,3
Cantidad de trabajadores inicial	6

Fuente: Elaboración propia.

El cómputo de los costos relevantes del plan obedece a la siguiente lógica:

Se segmenta el costo de mano de obra en tres modalidades. En primera instancia, se reporta el costo de la mano de obra que trabaja en turnos ordinarios, incluyendo dentro de este cálculo de las respectivas bonificaciones por desempeño productivo, salarios fijos y otras prebendas. También se relacionan los pagos asociados al uso de horas adicionales que se pactan entre las partes y que no superan las máximas legales. Por último, se calcula el pago a la entidad contratista por producir una fracción de unidades cuyo costo unitario es superior, generalmente, a las producidas internamente. Se contabiliza el costo de vinculación de nuevos obreros que envuelve los costos de reclutamiento, selección y adiestramiento para evitar detrimentos en la curva de aprendizaje; el costo de despido por su parte, incluye el pago de las prestaciones sociales del personal desvinculado, prima de antigüedad y otros costos relacionados con el despido. El costo de manejo de stock equivale a la suma del costo de oportunidad y los costos variables que se asumen para garantizar la disponibilidad del inventario, así como también los costos de almacenaje, cargas impositivas, seguros y mermas. Dentro del costo unitario se han computado los costos concernientes a materia prima, productos semi-procesados y productos finales.

3.2.1. Enfoque de Programación Entera Mixta

En este apartado se procede a diseñar un plan agregado de producción expresado como un programa entero mixto. Este género de modelos es una extensión de los programas lineales, pero difiere de estos últimos, ya que incorporan variables restringidas a admitir exclusivamente valores enteros y, por tanto, transgrede el supuesto de perfecta divisibilidad. Los valores factibles del modelo también se expresan como restricciones lineales.

La forma funcional estándar de un modelo entero mixto es la siguiente:

$$\max\ Z = \sum_{j=1}^{m} c_j x_j + \sum_{k=1}^{n} b_k y_k$$

sujeto a:

$$\sum_{j=1}^{n} A_{ij} x_j + \sum_{k=1}^{n} H_{ik} y_k \leq d_k \ \forall i$$

$$x_j, y_k \geq 0$$

$$x \text{ entera}$$

Siendo Z la función de costos totales u objetivo; $C = [c_1, c_2, c_3 \dots c_n]^T$ y $B = [b_1, b_2, b_3 \dots b_n]^T$ los vectores de coeficientes de la función objetivo; $X = [x_1, x_2, x_3 \dots x_n]^T$ y $Y = [y_1, y_2, y_3 \dots y_n]^T$ los vectores de las variables de decisión; $A = [\dots a_{ij} \dots]^T$ y $H = [\dots h_{ik} \dots]^T$ las matrices de los coeficientes técnicos y $D=[d_1, d_2, d_3 \dots d_n]^T$ el vector de demandas o recursos. Si se ejecutan las operaciones numéricas respectivas entre vectores y matrices, los componentes del modelo quedarán expresados en forma de sumatorias.

En el modelo propuesto se consideran las restricciones inherentes al sistema productivo y éstas vienen dadas como siguen:

La ecuación de balance de fuerza laboral se obtiene a partir de la diferencia entre la cantidad de trabajadores del periodo anterior y la cantidad de trabajadores despedidos en el periodo inmediato; se adicionan las contrataciones efectuadas en ese horizonte de tiempo. La cantidad de unidades producidas en un periodo cualquiera permanece constante. La capacidad disponible está condicionada por el cuello de botella del sistema. Es por ello, que el output real será igual a la tasa máxima de producción estándar de la estación bottleneck, más las unidades producidas en tiempo extra.

El inventario inicial más la producción estándar y las unidades subcontratadas en el periodo inmediato es igual a la demanda en ese periodo. Se adiciona el inventario final del periodo antecedente y el desabastecimiento presente y anterior.

A continuación, se presentan las variables de decisión y otros parámetros que integran el modelo.

W_i =Nº de trabajadores para el mes i ($i = 1,2,3 \dots$)

H_i= Nº de trabajadores contratados para el mes i ($i = 1,2,3 \dots$)

L_i= Nº de trabajadores despedidos para el mes i ($i = 1,2,3 \dots$)

I_i= Inventario inicial para el mes i ($i = 1,2,3 \dots$)

P_i= Producción estándar constante de la masa laboral antigua para el mes i ($i = 1,2,3 \dots$)

Q_i= Producción estándar constante de la masa laboral nueva para el mes i ($i = 1,2,3 \dots$)

O_i= Producción en tiempo extra por trabajador antiguo para el mes i ($i = 1,2,3 \dots$)

R_i= Producción en tiempo extra por trabajador contratado para el mes i ($i = 1,2,3 \dots$)

S_i= Unidades subcontratadas para el mes i ($i = 1,2,3 \dots$)

D_i= Demanda pronosticada para el mes j ($j = 1,2,3 \ldots$)

La función objetivo corresponde a la sumatoria de los componentes de costos asociados al plan agregado de producción:

$$\text{Min } Z = \alpha \sum_{i=1}^{n=6} W_i + \beta \sum_{i=1}^{n=6} H_i + \gamma \sum_{i=1}^{n=6} L_i + \varepsilon \sum_{i=1}^{n=6} I_i + \varepsilon \sum_{i=1}^{n=6} O_i + \theta \sum_{i=1}^{n=6} P_i + \pi \sum_{i=1}^{n=6} R_i + \xi \sum_{i=1}^{n=6} Q_i + \varpi \sum_{i=1}^{n=6} S_i$$

sujeto a:

$$W_i = W_{i-1} + H_i - L_i$$

$$P_i = \varphi W_i$$

$$Q_i = \omega H_i$$

$$O_i \leq \mu W_i$$

$$R_i \leq \chi H_i$$

$$S_i \leq M$$

$$I_i = I_{i-1} + P_i + Q_i + R_i + O_i + S_i - D_i$$

$$D_i = I_{i-1} + P_i + Q_i + R_i + O_i + S_i$$

$$W_i, H_i, L_i, I_i, S_i, P_i, Q_i, R_i \geq 0$$

$$W_i, H_i, L_i \text{ entera}$$

La ecuación de balance de fuerza laboral se obtiene a partir de la diferencia entre la cantidad de trabajadores del periodo anterior y la cantidad de trabajadores despedidos en el periodo actual; se adicionan las contrataciones efectuadas en ese horizonte de tiempo. Acótese que es una situación indeseable que se produzcan cambios abruptos de la fuerza laboral en el horizonte de planificación. Por consiguiente, ha de procurarse no efectuar nuevas contrataciones o despidos.

Se plantea una restricción que indica la cantidad de unidades que puede producir en horario estándar, la masa laboral en un periodo i-ésimo. Existe otra restricción que da cuenta sobre la capacidad productiva de los trabajadores contratados en un periodo del horizonte. Se subraya que la cantidad de unidades producidas permanece constante, pues la capacidad disponible está condicionada por el comportamiento del cuello de botella del sistema y por la tasa de aprendizaje de los operarios. Para cuantificar el nivel de eficiencia de trabajo de estos grupos bien distinguidos, se incorpora en la restricción, un coeficiente denotado por ω que expresa una relación entre la experiencia individual y productividad marginal de los laborantes. Las restricciones subsecuentes informan sobre el volumen de producción generado en jornada laboral extraordinaria para la masa de laborantes antiguos y recientemente vinculados, respectivamente.

No hay cotas asociadas a subcontratación. Por tanto, se desprende del tenor de esta idea que no hay restricciones en la externalización de la producción cuando la entidad sea incapaz de cubrir los requerimientos de demanda. Se adiciona una cota $L_i = 0$ para rechazar la posibilidad de que el modelo contemple la realización de despidos.

El plan derivado de la aplicación del modelo de programación entera mixta que se localiza en la Tabla 7 permite la fluctuación de la fuerza laboral en todos los periodos y trabajar a la máxima capacidad. En algunos periodos se conservarán existencias en stock que sirvan como buffer o amortiguador para periodos posteriores donde existan incrementos notables en la demanda. Sin embargo, no se evita externalizar la producción.

Tabla 7. Resultados del modelo de programación entera mixta.

Periodo	**1**	**2**	**3**	**4**	**5**	**6**
Inventario inicial	15	0	0	0	0	0
Días de trabajo por mes	20	20	20	20	20	20
Horas de producción disponibles	996	996	996	996	996	996
Producción con variación regular	166	166	166	166	166	166
Proyección de la demanda	234	222	263	258	289	209
Unidades disponibles antes del tiempo extra y subcontratación	-53	-56	-97	-92	-123	-43
Unidades de tiempo extra	20	20	20	20	20	20
Unidades subcontratadas	72	58	104	92	131	44
Reserva de Seguridad	24	22	27	20	28	21
Unidades sobrantes	0	0	0	0	0	0
Trabajadores en el periodo	8	8	9	9	10	7

Fuente: Elaboración propia.

3.2.2. Enfoque de Programación Lineal (Modelo de Transporte)

El problema de transporte y asignación se concibe como un problema de flujo de red en el que se busca una solución que minimice el costo del envío de productos desde diversos puntos de origen a unos destinos; se formula frecuentemente como un modelo de programación lineal, razón por la cual, las variaciones en el volumen de los bienes manufacturados originan cambios proporcionales en la estructura de costos. La taxonomía del modelo en cuestión incluye variables y restricciones sobre la capacidad de la empresa, las entidades subcontratistas y la demanda para el horizonte de tiempo. El método de transporte resulta de gran utilidad para aquellos casos en los que no se considera plausible modificar el tamaño de la fuerza laboral.

El problema de transporte parte de la premisa de que pueden adicionarse orígenes o destinos para equiparar la demanda total a la oferta total, o en otros términos, restaurar el balance. Es fácilmente perceptible que en el tableu localizado en la Tabla 8 se localizan puntos de abastecimiento para cada periodo A_i, un punto de demanda para cada periodo D_i y otro para el inventario final si se requiere. Las unidades ofertadas son producidas bajo la modalidad de horarios regulares, turnos extraordinarios y mediante subcontrataciones. En cada celda se computa la capacidad para el periodo

correspondiente y en cada columna se asigna una demanda. Para la columna de exceso de capacidad, la demanda es equivalente a la diferencia entre la capacidad total y la demanda total. Cada celda en la matriz de transporte lleva un costo asociado. Anótese que el costo incurrido por cada unidad fabricada en un periodo cualquiera, usada para satisfacer la demanda D_i en el periodo, es justamente el costo de producción. Como no se admiten faltantes, la demanda en un periodo cualquiera no puede satisfacerse con unidades producidas en periodos posteriores; para condicionar la solución del modelo en función de esta restricción se reporta un costo finito muy alto denotado con el grafema "M". El inventario inicial tiene un costo nulo para el primer periodo y los periodos que siguen equivalen a la suma de los costos de almacenaje de todos los periodos anteriores.

Tabla 8. Solución del problema de transporte.

Demanda para:	**1**	**2**	**3**	**4**	**5**	**6**	
Inventario Inicial	15						15
Tiempo Regular	166						166
Horas Extras	20						20
Subcontratos	33						33
Tiempo Regular		166					166
Horas Extras		20					20
Subcontratos		36					36
Tiempo Regular			166				166
Horas Extras			20				20
Subcontratos			77				77
Tiempo Regular				166			166
Horas Extras				20			20
Subcontratos				72			72
Tiempo Regular					166		166
Horas Extras					20		20
Subcontratos					103		103
Tiempo Regular						166	166
Horas Extras						20	20
Subcontratos						23	23
	234	**222**	**263**	**258**	**289**	**209**	
	Demanda Satisfecha						

Fuente: Elaboración propia.

3.2.2.1 Variables de decisión y parámetros del modelo

x_{ij} = Producción total en el periodo $i(1,2,3\ldots)$ para la demanda del periodo $j(1,2,3\ldots)$

c_{ij} = Costo de Producción unitario en el periodo $i(1,2,3\ldots)$ para la demanda del periodo $j(1,2,3\ldots)$

b_{ij} = Unidades a producir en el periodo $i(1,2,3\ldots)$ para la demanda del periodo $j(1,2,3\ldots)$

a_i = Capacidad de producción en el periodo $i(1,2,3\ldots)$

D_j = Demanda pronosticada para el mes j $(i = 1,2,3\ldots)$

$$Min\ Z = \sum_{i=1}^{m=6} \sum_{j=1}^{n=6} c_{ij}\, x_{ij}$$

sujeto a:

$$\sum_{i=1}^{n=6} b_{ij} \leq a_i \quad \forall i = 1,2,3, \dots n$$

$$\sum_{i=1}^{n=6} b_{ij} = D_j \quad \forall j = 1,2,3, \dots m$$

$$a_{ij}, b_{ij}, x_{ij} \geq 0 \quad para\ toda\ i\ y\ j$$

Nótese que la solución consignada en la Tabla 8 admite la combinación de múltiples estrategias de producción dependiendo de las necesidades específicas que deben ser atendidas en cada periodo. En el primer periodo, por ejemplo, la demanda total se satisface con unidades producidas en tiempo estándar y el inventario remanente que procede del periodo inmediatamente anterior. Se hace patente, además, que en la solución final sólo se han computado los costos asociados a mantenimiento de inventario, producción en horario normal y uso de horas extras, por lo que se asume que los costos de nómina permanecen constantes y tales deben incluirse para efectos de comparación con estrategias competentes. Esto se debe a que se mantiene un número máximo de trabajadores independientemente de las tasas de producción y variaciones en el nivel de demanda.

3.2.3. Análisis de estrategia de planificación agregada derivada del modelo de planificación por metas

Los modelos de programación por metas, que pueden comprenderse como una extensión de los modelos clásicos de programación lineal, son empleados normalmente en el contexto de la planificación agregada de la producción, por su capacidad para resolver problemas que en los cuales se establecen objetivos múltiples o inconmensurables (Mansoureh & Shirouyehzad, 2014). Debe admitirse que, aunque los programas lineales y los modelos construidos bajo el paradigma multicriterio poseen estructuras homólogas, tienen la particularidad de introducir variables auxiliares catalogadas como desviaciones, que representan el distanciamiento entre los niveles de aspiración para un atributo correspondiente. Se examinan, en consecuencia, dos tipos de desviación: una desviación negativa δ^- y una positiva δ^+, que cuantifican la falta y exceso de logro respecto al nivel de aspiración, respectivamente. En contraste con los modelos de programación lineal, en los que se optimiza directamente la función objetivo, en el enfoque de programación multiobjetivo se persigue establecer un conjunto de soluciones eficientes o Pareto óptimas en lugar de determinar un óptimo existente. Dado que los objetivos trazados en el plan de producción agregado son conmensurables, se introducen ponderaciones preferentes, de modo que las metas se clasifican según un nivel de relevancia ordinal.

La función objetivo a minimizar se formula como una combinación lineal de variables de desviación y las restricciones se formulan siguiendo estos criterios. No son preferibles modificaciones estructurales de la fuerza laboral, por tanto, es deseable el mantenimiento de la cantidad inicial de trabajadores en el horizonte de planificación. Los niveles de producción generados por la fuerza laboral antigua y recientemente vinculada no deben superar el output máximo permisible por la fase de la cadena productiva más ralentizada (cuello de botella). Los niveles de subcontratación ahora se acotan a una cantidad específica, y el stock de seguridad se fija en 10% de la demanda neta en cada

periodo. No es permisible la ocurrencia de ventas perdidas y se extreman esfuerzos para evitar la postergación en la entrega de pedidos solicitados.

Otra restricción que se fija es que la demanda debe ser cubierta con las unidades producidas en horario normal y extraordinario, añadiendo los volúmenes subcontratados y el inventario que yace inmovilizado desde el periodo inmediatamente anterior.

Apréciese que las restricciones del sistema se formulan siguiendo en enfoque de modelado convencional incluyendo las respectivas desviaciones en relación a los objetivos referidos anteriormente.

$$min\ Z = \rho_1 \sum_{i=1}^{n=m} \omega_i(\delta_i^+ + \delta_i^-) \qquad [10]$$

sujeto a:

$W_i = W_{i-1} + H_i - L_i + \boldsymbol{\delta_1^+} + \boldsymbol{\delta_1^-}$ (10.1)

$P_i = \varphi W_i + \boldsymbol{\delta_2^+} + \boldsymbol{\delta_2^-}$ (10.2)

$Q_i = \tau H_i + \boldsymbol{\delta_3^+} + \boldsymbol{\delta_3^-}$ (10.3)

$O_i \leq \mu W_i + \boldsymbol{\delta_4^+} + \boldsymbol{\delta_4^-}$ (10.4)

$R_i \leq \chi H_i + \boldsymbol{\delta_5^+} + \boldsymbol{\delta_5^-}$ (10.5)

$S_i \leq \tau + \boldsymbol{\delta_6^+} + \boldsymbol{\delta_6^-}$ (10.6)

$I_i = I_{i-1} + P_i + Q_i + R_i + \mathrm{O_i} + \mathrm{S_i} - \mathrm{D_i} + \boldsymbol{\delta_7^+} + \boldsymbol{\delta_7^-}$ (10.7)

$\mathrm{D_i} = \mathrm{I_{i-1}} + \mathrm{P_i} + \mathrm{Q_i} + \mathrm{R_i} + \mathrm{O_i} + \mathrm{S_i} + \boldsymbol{\delta_8^+} + \boldsymbol{\delta_8^-}$ (10.8)

$\mathrm{W_i}, \mathrm{H_i}, \mathrm{L_i}, \mathrm{I_i}, \mathrm{S_i}, \mathrm{P_i}, \mathrm{Q_i}, \mathrm{R_i}, \delta_i^+ \delta_i^- \geq 0$ (10.9)

$\mathrm{W_i}, \mathrm{H_i}, \mathrm{L_i}$ entera (10.10)

El plan propuesto en la Tabla 9 implica la alteración del tamaño de la fuerza de trabajo mediante contrataciones en diferentes periodos. La premisa sobre la que se sustenta esta estrategia es que las tasas de producción deben ajustarse de acuerdo con los requerimientos del mercado y, por consiguiente, la fuerza laboral también debe modificarse. Donde ocurren aumentos en la demanda se considera la opción de contratar, mientras que en escenarios de baja demanda, se concibe la idea de prescindir de una fracción de trabajadores. El plan en mención también obliga a ejecutar múltiples subcontrataciones y trabajar a la máxima capacidad cuando existen incrementos notorios en la demanda. Un indicio para argüir que tal estrategia es infactible es que transgrede algunas restricciones como la cantidad máxima de unidades subcontratadas o cantidad de tiempo utilizado en tiempo extra para algunos periodos de análisis.

Tabla 9. Plan Agregado de Producción 3.

Periodo	1	2	3	4	5	6
Inventario inicial	15	0	0	0	0	0
Horas de producción disponibles	996	996	996	996	996	996
Producción con variación regular	166	166	166	166	166	166
Proyección de la demanda	234	222	263	258	289	209
Unidades disponibles antes del tiempo extra	-53	-56	-97	-92	-123	-43
Unidades de tiempo extra	53	56	97	92	123	43
Unidades subcontratadas	23	22	26	26	29	21
Unidades sobrantes (Unidades disponibles antes del tiempo extra - Reserva de Seguridad)	0	0	0	0	0	0
Trabajadores en el periodo	8	8	9	9	10	7

Fuente: Elaboración propia.

3.2.4. Modelo de coeficientes gerenciales (MCG)

Este modelo parte de la asunción de que las decisiones gerenciales pretéritas son racionales y se aproximan al menos, a un óptimo local. Esta información histórica está disponible para efectos de estimación de un vector de coeficientes y para producir reglas de decisión plausibles. Este método ostenta una lógica procedimental intuitiva, lo que facilita que su implementación sea menos compleja, en agudo contraste con los modelos de decisión matemáticos con un grado de sofisticación superior. No obstante, la selección de la regla es esencialmente subjetiva y supeditada a criterios valorativos. Otro supuesto restrictivo es que el modelo construido proporciona una descripción poco verosímil de estados de cosas futuros y ello induce inexorablemente al error, pues impide que el administrador se adapte rápidamente a las condiciones impuestas por un veleidoso entorno competitivo.

Se introduce a continuación una versión modificada del modelo formal de coeficientes gerenciales construido bajo la asunción de que el entramado decisional en fases anteriores ha producido resultados consistentes. La deducción del modelo difiere significativamente de la forma estándar del MCG ya que la variable respuesta “Producción total” posee valores que adoptan una distribución gaussiana. El modelo lineal generalizado traído a colación se integra dentro de una colección unificada de modelos de regresión extendidos a un vasto abanico de distribuciones de probabilidad. Esta tipología de modelos consta de un componente aleatorio que determina la distribución de los términos de error, un componente sistemático que define un predictor, combinación lineal de las variables explicativas y, finalmente, la función enlace que proporciona la relación entre el predictor lineal y la media de la función de distribución. El modelo a diseñar reviste una importancia trascendental en virtud de su aptitud para proporcionar reglas de decisión útiles para la planificación de ventas y operaciones en el periodo referencial, a sabiendas de que no es preferible la ejecución de reformas estructurales sobre la capacidad general del sistema y que el nivel de fuerza laboral debe ser constante. Es preciso esclarecer que ordinariamente, un método como éste, será incapaz de suministrar soluciones óptimas o factibles.

La función de distribución viene expresada por:

$$\Phi_{\mu,\sigma} = \frac{1}{\sigma\sqrt{2\pi}} \int_{-\infty}^{x} \exp - \frac{(x-\mu)^2}{2\sigma^2}\, du$$

La media y varianza son entonces $E(y) = \mu$ y $Var(y) = \sigma^2$ respectivamente. Asumiendo que el parámetro de forma es constante la estructura de regresión obedece a la formulación:

$$g(\mu) = n_i = x_i'\beta$$

siendo $g(.): (\infty, 0) \rightarrow \mathbb{R}$ una función de enlace estrictamente monotónica y dos veces diferenciable, x_i la matriz de predictores que incluye al intercepto y β el vector de coeficientes. (Corrales & Cepeda, 2015).

Para garantizar la estabilidad en el proceso de estimación paramétrica del modelo se dispone del algoritmo de las puntuaciones de Fisher que propone utilizar la matriz de información, es decir, el negativo del valor esperado de la matriz Hessiana, expresado como (Cepeda, Corrales, Cifuentes, & Zarate, 2016):

$$-E\left[\frac{\partial^2 l}{\partial\beta_k\beta_j}\right] = \sum_{i=1}^{n} \alpha_i^2 \left[\frac{d^2}{d\alpha_i^2}\log\Gamma(\alpha_i) - \frac{1}{\alpha_i}\right] z_{ij} z_{ki}, j, k = 1 \ldots r$$

El tamaño del paso en cada iteración se decrementa a razón de $\frac{1}{2}$ hasta alcanzar un aumento del logaritmo de la verosimilitud. La máxima verosimilitud estima conjuntamente el parámetro de escala y los efectos del modelo.

Para predecir los volúmenes de producción agregada en un horizonte de planificación intermedio se han especificado los siguientes predictores lineales que incorporan la información sobre las variables independientes y están escalados métricamente: la demanda pronosticada para el periodo referencial, las unidades producidas en horario estándar y extraordinario, así como también, las unidades subcontratadas. Los valores iniciales de los parámetros son determinados aleatoriamente. El algoritmo converge a una solución óptima si el estadístico basado en la convergencia hessiana es menor que el valor positivo especificado, en este caso, el producto del valor positivo definido a priori y el valor absoluto del logaritmo de la verosimilitud.

En la Tabla 10 se muestran los estadísticos de la prueba ómnibus del ajuste del modelo con la intención de evaluar el funcionamiento del modelo actual en contraste con el modelo nulo, constituido únicamente por el intercepto. Dado que el p-valor es inferior al 0,05, se colige que el modelo estimado posee una alta capacidad explicativa dado que la totalidad de efectos principales son estadísticamente significativos. Se computan además los intervalos de Wald a un 95% de confianza y otros estadísticos que cuantifican la bondad de ajuste del modelo como la desvianza igual a es $G^2 = -2\sum_{i=1}^{n}[l_i(\hat{u}_i) - l_i(y_i)] = x$ y el estadístico de Pearson dado por $\lambda = \sum_{i=1}^{n} \frac{(y_i - \hat{u}_i)^2}{\xi w_i(\hat{u}_i)} = x$. El valor reportado por ambos estadísticos indica el ajuste del modelo es idóneo y, por ende, las covariables seleccionadas reproducen, de forma pertinente, el comportamiento de la variable respuesta.

Tabla 10. Estimación y bondad de ajuste del modelo.

Parámetro	Coeficiente	Error estándar	Sig	95% de intervalo de confianza de Wald	
				Inferior	Superior
(Intersección)	3,158	,3115	0,001	2,548	3,768
Producción estándar	,005	,0010	0,023	,003	,007
Producción extraordinaria	,008	,0019	0,064	,004	,012
Subcontratación	,006	,0017	0,259	,010	,003
Inventario	,005	,0016	0,035	,002	,009

Bondad de ajuste			
	Valor	gl	Valor/gl
Desvianza	,132	88	,001
Chi-cuadrado de Pearson	,128	88	,001
Logaritmo de verosimilitud	311,256		
Criterio de información bayesiana (BIC)	649,707		

Prueba omnibus Chi-cuadrado de razón de verosimilitud	Gl	Sig.
140,072	4	,000

Fuente: Elaboración propia.

En la Tabla 11 se localizan los niveles de producción pronosticados para el siguiente semestre. Los valores asociados a las variables independientes son determinados a partir de la información histórica de las decisiones gerenciales materializadas. Asimismo, se computan valores asociados a la producción en tiempo normal, subcontratación y manejo de inventario en un horizonte de tiempo especificado previamente. Se descartan decisiones tendentes a modificar el tamaño de la fuerza laboral y se atienden los mismos criterios de planeación contemplados en epígrafes antecedentes. Para sortear eventuales problemáticas interpretativas, las estimaciones provistas quedarán expresadas en su escala de medida inicial. Nótese que este programa implica la no subcontratación de unidades demandadas (dado que no es una variable estadísticamente significativa) y trabajar extensivas jornadas laborales en cada periodo. A primera vista, podrá argüirse que esta estrategia no es apropiada.

Tabla 11. Estimación y bondad de ajuste del modelo.

Periodo	1	2	3	4	5	6
Inventario inicial	15	11	19	0	0	0
Horas de producción disponibles	996	996	996	996	996	996
Producción con variación regular	166	166	166	166	166	166
Proyección de la demanda	234	222	263	258	289	209

Unidades disponibles antes del tiempo extra	-53	-56	-97	-92	-123	-43
Unidades de tiempo extra	53	56	97	92	123	43
Unidades subcontratadas	0	0	0	0	0	0
Unidades sobrantes (Unidades disponibles antes del tiempo extra - Reserva de Seguridad)	0	0	0	0	0	0
Trabajadores en el periodo	6	6	6	6	6	6

Fuente: Elaboración propia.

Se visualiza en la Figura 3 un análisis comparativo de las estrategias de planificación introducidas en apartados precedentes. Como es de esperarse, los costos operativos varían en función de los escenarios presagiados en cada modelo de planificación. Así, por ejemplo, los modelos de programación matemática restringida engendran planes de producción con alternativas combinadas, pues los costos totales están distribuidos en: producción de unidades en horario estándar y extra, costos por subcontratación y por mantenimiento de unidades inmovilizadas. Conviene anotar que ninguno de los planes admite la existencia de una cantidad casi despreciable de desabastecimientos.

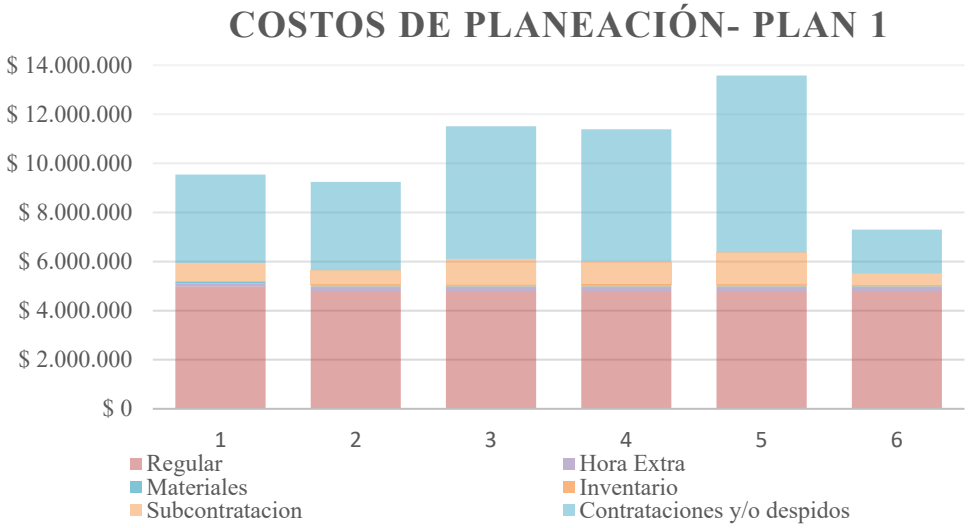
Las estrategias de planificación que implican cambios en la masa de trabajadores implican la erogación de importantes sumas de dinero para efectos de contratación. Si se inspeccionan las estrategias, a excepción de la segunda y la última, se detecta que la externalización de la función de producción supone la incursión de altos costos para cumplir con dos objetivos fundamentales: la satisfacción de la demanda pronosticada y para el mantenimiento de reservas de seguridad. Por otro lado, la estrategia basada en el modelo de transporte solo admite el cubrimiento de las unidades demandadas y no la inmovilización de unidades en stock.

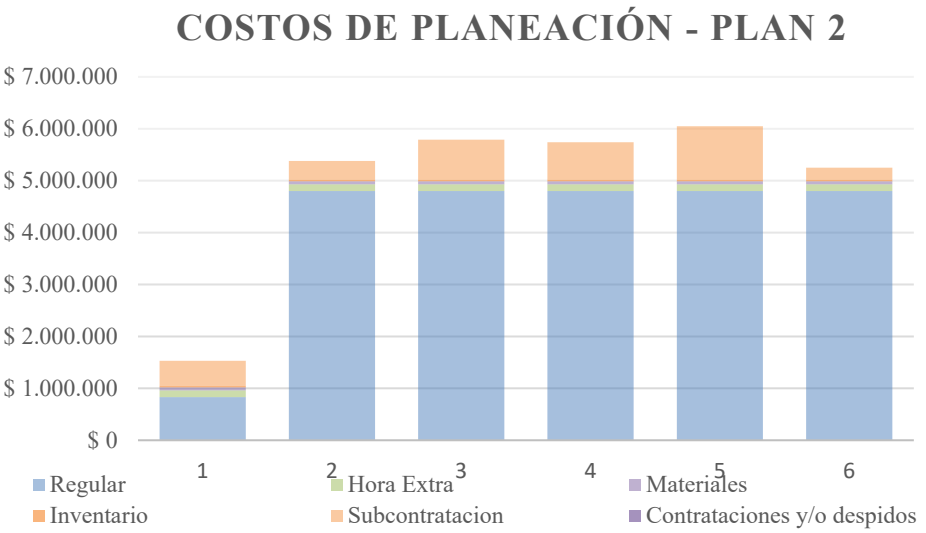
4. Conclusiones

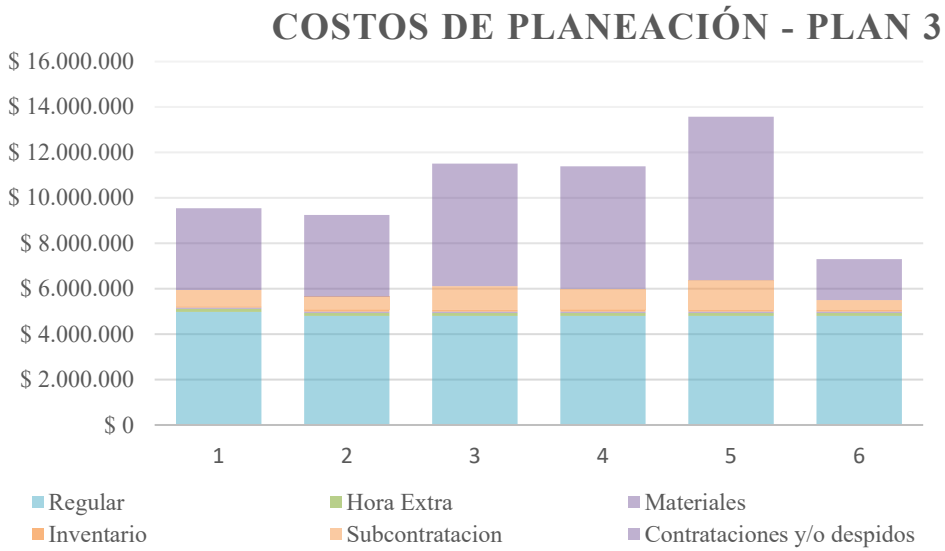
En este apartado se plasman ciertas consideraciones concluyentes a partir del análisis comparativo entre estrategias de planificación explicitadas en apartados anteriores. Tal y como se percibe, el objetivo de las mismas es efectuar modificaciones sobre el sistema productivo para reducir la disparidad entre la capacidad disponible y la capacidad requerida. La celeridad, potencia y confiabilidad de las técnicas anteriormente descriptas les ha llevado a ser un activo esencial dentro del proceso de diseño de planes agregados de ventas y operaciones, ya que incorporan en su estrategia de búsqueda de soluciones, el conocimiento disponible en el dominio gerencial.

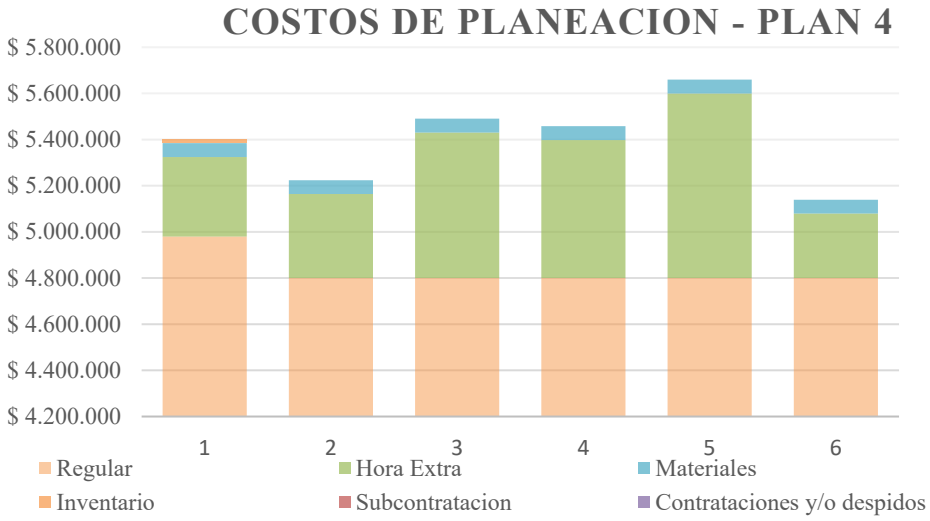
En la fase previa al diseño del plan agregado se efectuó un análisis diagnóstico de la capacidad de producción y a la postre se generaron pronósticos de demanda en el horizonte temporal establecido; estas etapas proporcionaron insumos informativos para la construcción de sendos modelos de programación matemática, a partir de los que se derivan lineamientos operativos y administrativos. Se concluye que, de los planes evaluados, la estrategia de planificación que más se adecua a las condiciones reales del proceso es aquella determinada a partir del modelo de transporte. Tal estrategia no contempla cambios en el tamaño de la fuerza laboral, en agudo contraste, con los otros planes agregados que no satisfacen ésta y otras restricciones administrativas.

Figura 3. Análisis comparativo de las estrategias de planificación.









Fuente: Elaboración propia.

El plan agregado de ventas y operaciones asiste al proceso de toma de decisiones, amén de proporcionar una guía para la programación de la producción y actividades logísticas. De este modo se logra una franca mejoría de la capacidad del proceso productivo para responder a las necesidades de un mercado fluctuante y complejo. Se demuestra pues, en este caso de estudio, la utilidad de la aplicación de los diversos enfoques metodológicos para el abordaje de un problema de cada vez más común en el contexto organizacional. La investigación que nos ocupa, orienta a futuros investigadores a evaluar el uso de técnicas no convencionales para la elaboración de planes agregados de ventas y operaciones, de manera que pueda corroborarse empíricamente la plausibilidad e idoneidad de las mismas.

Referencias

Albornoz, V., Bravo, D., & Ortiz-Araya, V. (2015). Plan jerárquico de producción en una cadena de suministro con productos de demanda estacional. *DYNA Management, 3*(1), 1-15. https://doi.org/10.6036/MN7646

Arredondo, G., Ocampo, K., Orejuela, J., & Rojas, C. (2017). Modelo de planeación y control de la producción a mediano plazo para una industria textil en un ambiente make to order. *Revista Ingenierías, 16*(30), 169-193.

Cepeda, E., Corrales, M., Cifuentes, M., & Zarate, H. (2016). On Gamma Regression Residuals. *Journal of The Iranian Statistical Society , 15*(1), 29-44.

Corrales, M., & Cepeda, E. (2015). Gamma regression models with the Gammareg R package. *Comunicaciones en Estadística*, *8*(2), 211-223.

Chapman, S. (2006). *Planificación y control de la producción (Primera ed.)*. México DF: Pearson Education.

Gansterer, M. (2015). Aggregate Planning and Forecasting in Make-to-Order Production Systems. *International Journal of Production Economics, 170*, 521-528.

Garzón, H., Solana, J., & Rahmer, B. (2017). *Análisis comparativo de modelos de planeación agregada de las ventas y operaciones: Estudio de caso para la empresa Cartagenera de Icopores S.A.* Avances en Investigación de Operaciones y Ciencias Administrativas (pp. 145-151). Barranquilla.

Krajewski, L., Ritzman, L., & Maholtra, M. (2008). *Administración de Operaciones: Procesos y cadena de Valor (Octava ed.)*. México: Pearson Education.

Madadi, N., & Yew Wong, K. (2013). A deterministic aggregate production planning model considering quality of products. *IOP Conference Series: Materials Science and Engineering, 46,* 1-11.

Mansoureh, F., & Shirouyehzad, H. (2014). Proposing an Aggregate Production Planning Model by Goal Programming Approach, a Case Study. *Data Envelopment Analysis and Decision Science*, 1-13.

Mékidiche, M., Mouslim, H., & Sahed, A. (2013). Application of tolerance approach to fuzzy goal programming to aggregate production planning. *International Journal of Mathematics in Operational Research, 5*(2), 183-204.

Noegraheni, E., & Nuradli, H. (2016). Aggregate Planning to Minimize Cost of Production in Manufacturing Company. *Binus Business Review, 7*(1), 39-45.

Sipper, D., & Rober L.B. (1998). *Planeación y Control de la Producción (Primera ed.)*. México D.F: McGraw Hill.

Solera, Á. (2000). *Criterios para la selección de modelos estadísticos*. Costa Rica: Departamento de Investigaciones Económicas, Banco Central de Costa Rica.

Taha, H.A. (2012). *Investigación de Operaciones (Novena ed.)*. México D.F.: Pearson Education.

REVISTA DE MÉTODOS CUANTITATIVOS PARA LA ECONOMÍA Y LA EMPRESA (33). Páginas 310-325.
Junio de 2022. ISSN: 1886-516X. D.L: SE-2927-06.
www.upo.es/revistas/index.php/RevMetCuant/article/view/4837

Midiendo la incertidumbre en sistemas de innovación de Triple Hélice

GUTIÉRREZ ORTEGA, ARMANDO
Universidad Autónoma de Baja California (México)
Correo electrónico: armando.gutierrez@uabc.edu.mx

MUNGARAY LAGARDA, ALEJANDRO
Universidad de Sonora (México)
Correo electrónico: mungaray@uabc.edu.mx

OSORIO NOVELA, GERMÁN
Universidad Autónoma de Baja California (México)
Correo electrónico: gosorio@uabc.edu.mx

RESUMEN

El presente trabajo compara la interacción Universidad-Industria-Gobierno del sistema de innovación aeroespacial del Sur de california con el del Noroeste de Inglaterra; utilizando la metodología para medir la incertidumbre propuesta por Leydesdorf, Park y Lengynel (2013). Con información de diversas fuentes que privilegian los fondos de inversión sobre las patentes, el Sur de California mostró interacciones mayores en comparación con el Noroeste de Inglaterra. El impacto que los fondos públicos y las políticas gubernamentales sobre la industria, la transformación de la dinámica académica, el avance del campo de investigación, el desarrollo de innovaciones y el mercado, indican que este tipo de metodologías pueden ayudar la toma de decisiones en países en vías de desarrollo, a condición de que las fuentes de información y su disponibilidad mejoren.

Palabras clave: triple hélice, sistemas de innovación, innovación tecnológica, industria aeroespacial, Estados Unidos, Inglaterra.
Clasificación JEL: O18; 032; O38; O51; O52.
MSC2010: 91B44; 94A17.

Artículo recibido el 23 de abril de 2020 y aceptado el 17 de agosto de 2021.

Measuring uncertainty in Triple Helix innovation systems

ABSTRACT

The present work compares the University-Industry-Government interaction of the Southern California aerospace innovation system with that of the North West of England; using the methodology to measure the uncertainty proposed by Leydesdorf, Park and Lengynel (2013). Using information from various sources that prioritize investment funds over patents, Southern California showed greater interactions compared to North West England. The impact that public funds and government policies on the industry, the transformation of academic dynamics, the advancement of the field of research, the development of innovations and the market, indicate that this type of methodologies can help decision-making in developing countries, provided that information sources and their availability improve.

Keywords: triple helix, innovation systems, technology innovation, aerospace industry, USA, England.
JEL classification: O18; 032; O38; O51; O52.
MSC2010: 91B44; 94A17.

1. Introducción

Las condiciones históricas, económicas, políticas y socioculturales de California y Noroeste de Inglaterra, han consolidado a estas regiones como polos relevantes de innovación de la industria aeroespacial en el mundo. Ambos modelos de innovación descansan en el liderazgo de las instituciones académicas como generadoras de capital humano, conocimiento basado en la investigación científica y desarrollo de innovaciones (Islam, 2010; Dosi et al., 2003; Etzkowitz & Leydesdorff, 2000). En ambas regiones se observan Universidades bien colocadas en el ranking de programas de ingeniería aeroespacial (QS World University Rankings, 2014); operan con modelos de interacción Universidad-Industria-Gobierno para la industria aeroespacial; y representan polos internacionales de atracción y desarrollo de proyectos de R&D+d, así como de concurrencia de fondos gubernamentales y privados.

Con el fin de entender hasta dónde ambos modelos de interacciones son expandibles a otras realidades, el objetivo de este trabajo es estimar y analizar, de manera comparada, el grado de interacción entre Universidad-Industria-Gobierno en cada sistema, que permita controlar los niveles de incertidumbre del proceso de innovación. Para ello, sin entrar en el análisis de los sistemas regionales de innovación, se utiliza la metodología de funcionamiento de la Triple Hélice (TH) propuesta por Leydesdorff et al. (2013), con el fin de comparar el tipo de interacción que resulta cuando Industria o Gobierno, asumen el liderazgo en un sistema regional de alto nivel de innovación. Esta metodología suele medir la incertidumbre o entropía probabilística, usando variables de resultados generadas de manera individual o recíproca, como patentes o publicaciones científicas. Sin embargo, en este trabajo se utilizan variables de esfuerzo, como inversiones en proyectos de investigación, desarrollo y diseño de innovación para la industria aeroespacial, principalmente porque en países en vías en desarrollo, la variable crítica es la inversión, debido a que la gestión requerida para incentivarla y gestionarla, es más fuerte y relevante que la gestión por las patentes, cuyo registro por secreto industrial ante la competencia, es limitado y no refleja el ritmo de la innovación. Por ello se presenta una aplicación estadística que correlaciona programas educativos, proyectos de investigación y desarrollo, agencias gestoras o administradoras de recursos financieros y capital humano, con el fin de tener una medida de incertidumbre del flujo de recursos involucrados con los procesos de innovación, más relacionada con entornos de países en vías de desarrollo.

En este contexto, después de la introducción se analizan las aportaciones sobre los mecanismos de interacción entre Universidad, Industria y Gobierno. En el tercer apartado se discute la utilidad de la metodología y la disponibilidad de datos, para presentar los resultados y su discusión, seguida por las conclusiones para tomar decisiones en la promoción y evaluación de sistemas de innovación de triple hélice.

2. Revisión de literatura.

Ranga y Etzkowitz (2013) definen la TH como la evolución de un sistema de producción industrial, que pasa de la diada industria-gobierno a una relación crecientemente tripartita entre universidad, industria y gobierno. La primera versión del modelo fue desarrollada a principios de la década de 1990 por Etzkowitz y Leydesdorff (2000) tomando como referencia el trabajo de Lowe (1982), Sabato et al. (1982). Su principal argumento es que:

> El potencial de la innovación y el desarrollo económico en una sociedad del conocimiento, reside en el papel cada vez más prominente de la universidad y en la hibridación de elementos de la universidad, la industria y el gobierno, para generar nuevos formatos institucionales y sociales para la producción, transferencia y aplicación del conocimiento. (Ranga & Etzkowitz, 2013, p.238).

En términos generales, el modelo TH está compuesto por tres agentes institucionales que interactúan de acuerdo a tres condiciones: (a) relaciones relativamente simétricas entre ellas, con un rol destacado de la universidad en el proceso de producción de innovaciones; (b) colaboración a través de

políticas para la innovación, derivadas de la interacción recíproca y no del tradicional ejercicio vertical de los organismos gubernamentales; (c) multifuncionalidad para que cada agente institucional cumpla con sus funciones específicas, al tiempo en que asume la de otros para reasignarse nuevos roles e incrementar su potencial de innovación (Human Sciences and Technologies Advanced Research Institute, 2011).

En versiones más recientes, Etzkowitz y Zhou (2007) introducen los elementos campo y circulación. El campo es utilizado para explicar procesos aparentemente antagónicos de superposición e independencia entre las hélices, y se asume como la fuerza movilizadora del modelo en general. La circulación se emplea para ayudar a determinar la dinámica de interacción entre las hélices.

El capital intelectual y el desarrollo de innovación tecnológica son considerados las claves que otorgan valor adicional a los procesos de producción industrial, independientemente del volumen de inversión en recursos materiales. Nuevas prácticas, industrias, disciplinas académicas, regulaciones y formas de conocimiento, surgen como consecuencia de esta fase de avance científico y técnico. La creatividad e innovación son dos de los componentes intangibles más relevantes para la economía del conocimiento (Powell & Snellman, 2004), la cual se puede caracterizar por tres rasgos distintivos: sus procesos son acelerados y complejos, tanto al interior como al exterior de las redes de sistemas y subsistemas públicos o privados, capaces de catalizar la creación, producción, retención y depreciación del conocimiento (Aghion & Howitt, 1990; Hermens, 1941; Schumpeter, 1934; Avaro, 2011). Un segundo rasgo son las transformaciones profundas en los modelos de producción y gestión de nuevas formas de capital que se generan y caducan a ritmos que desbordan las previsiones de quienes los proyectan (Avaro, 2011). El tercero es la migración conceptual permanente de las redes multilineales de información, hacia sistemas multidimensionales de interacción y determinación recíproca, que dependen de la innovación para establecer vínculos entre el uso global del capital intelectual y una sociedad conformada por nuevos tipos de ciudadanos y consumidores (Hauge, 2008; Castells, 2006; Etzkowitz, 2003; Adler, 2001).

La innovación es uno de los resultados más valiosos de la economía del conocimiento, pues se anticipa a la evolución y transformación de los procesos de producción y preferencias del mercado, encausa tendencias y prevé soluciones a problemas que aún no han surgido. Para concebir la innovación, es necesaria la confluencia de diversos factores como (a) políticas generales y normas; (b) activos intelectuales pertinentes, suficientes y adaptables; (c) industria y mercados basada en el desarrollo y aplicación del conocimiento; y (d) vínculos de interacción entre este conjunto de factores.

Hay una diversidad amplia de enfoques para entender la economía del conocimiento. Un conjunto relativamente heterogéneo de escuelas, coinciden en reconocerla como un sistema integrado por tres esferas institucionales, cuyas estructuras y funciones, autónomas en su origen, establecen una relación de interdependencia recíproca: (a) industria, cuya función es la generación de riqueza mediante la aplicación del conocimiento; (b) academia, que se orienta en producir y gestionar conocimiento e innovación; y (c) gobierno, responsable de regular, proteger y fomentar esta producción. Este modelo de TH depende del nivel de interacción en que se vinculan: 1. Las condiciones, recursos y capitales disponibles que ofrecen un entorno propicio para la dinámica de producción de bienes y servicios, basados en la aplicación intensiva del conocimiento (Rohrbeck et al., 2009; Adner, 2006; Moore, 2006); 2. Los proyectos específicos de innovación, capaces de generar nuevas espirales en el modelo (Martin-de-Castro, 2008; Feldman, 2001, 2007); 3. Los procesos de retención e intercambio de información entre las esferas institucionales, orientados a estabilizar la incertidumbre en niveles óptimos de expectativas (Leydesdorff et al., 2013; Leydesdorff et al., 2006; Leydesdorff & Meyer, 2006); 4. La transformación recíproca de las hélices, sus núcleos, estructuras y funciones, como resultado de su interacción (Etzkowitz, 2003; Peters & Etzkowitz, 1990).

Leydesdorff elaboró un modelo de estudio que permite identificar las interacciones de los núcleos institucionales de la TH, para desarrollar una versión más realista y actualizada de su funcionamiento. La forma en que el modelo opera y controla los niveles de incertidumbre entre sus elementos, genera un subsistema que moviliza, impulsa y transforma a las hélices a partir de nuevas sub-dinámicas de

interacción y producción (David & Foray, 2002; Etzkowitz & Leydesdorff, 2000). Las aplicaciones de Leydesdorff han sido exitosas en investigaciones de distinta naturaleza (Etzkowitz & Ranga, 2010; Ivanova & Leydesdorff, 2014; Leydesdorff et al., 2006), demostrando dos cualidades sobresalientes:

1. Solidez como herramienta para definir cómo es que los cambios en las funciones de las hélices generan una transformación en beneficio de la totalidad del modelo (Etzkowitz & Leydesdorff, 2000); 2. Versatilidad, ya que ha permitido incorporar información operativa y confiable en relación a variables como la dispersión geográfica, naturaleza de las firmas, número de patentes, coautoría de artículos científicos, entre otras (Leydesdorff et al., 2013; 2006).

Feldman (2001) identifica un subsistema derivado de la interacción intensa de las hélices, al que denomina Espacio Creativo, equivalente a Centros de Innovación (CI). Éstos se definen como un producto del crecimiento armónico, sistemático y organizado de los procesos creativos, en donde concurren los capitales adecuados para mantenerlos en operación, con recursos humanos, institucionales y tecnológicos. Están orientados al desarrollo de innovaciones para reconocer proyectos, empresas e instituciones educativas relevantes, financiables con recursos públicos y privados. Por ello son organizaciones diversas que se interrelacionan en un entorno o ecosistema de innovación propicio; en torno a proyectos específicos que les permiten generar procesos de aprendizaje recíproco y organizacional.

La creatividad puede considerarse un recurso que permite transformar el capital intelectual en valor y riqueza; y representa una de las bases de los proyectos, valiosos para la economía del conocimiento. Las propuestas metodológicas empleadas con mayor frecuencia para evaluar el desempeño y productividad de los espacios creativos y estudiar su impacto en el entorno, puede ofrecer un marco de referencia más preciso para su comprensión y definición de los indicadores de la creatividad como una variable objetiva (Feldman, 2001, 2007).

Las investigaciones sobre los procesos de producción de innovación, coinciden en considerarla como una confluencia multivariada de elementos, tanto en su condición dinámica de interacción, como en el tipo y número de ejes (Leydesdorff & Meyer, 2006; Etzkowitz & Leydesdorff, 2000). En este contexto, es común que las distintas disciplinas académicas intenten definir en qué condiciones, con qué tipo de agentes y cómo van a interactuar los elementos en un entorno que facilita la sinergia, denominado ecosistema de innovación. Este ecosistema es al mismo tiempo generador y resultado de la confluencia de políticas públicas que promuevan la producción, gestión y diseminación del conocimiento; de programas académicos institucionales de generación y desarrollo de investigación e innovación; y de la integración de los recursos de la innovación a la producción industrial y el mercado (Moore, 2006; Adner, 2006).

Si el motor de la economía contemporánea está cada vez más integrado a la producción de elevados niveles de riqueza a partir del valor del conocimiento, la posibilidad de desarrollo para las economías emergentes crecerá en función directa de la eficacia de sus políticas públicas para desarrollar capital humano, y que las empresas se oriente sobre la base de la aplicación del conocimiento (Etzkowitz & Klofsten, 2005).

3. Metodología para la medición y estimación de la incertidumbre

3.1. El modelo

La metodología desarrollada por Leydesdorff et al. (2013) para describir el nivel de interacción de los componentes de un sistema de innovación, incluye tres unidades o núcleos que son regularmente Universidad, Gobierno e Industria. Modifican el segundo teorema de la teoría de la información de Shanon (1948), pensada para sistemas binarios, para establecer el nivel de incertidumbre o entropía de los componentes de un sistema de tres dimensiones, con al menos tres conjuntos de variables

independientes, que permitieran describir la relación de intercambio de información en escalas comprensibles y objetivas.

Elegir una información en particular, depende tanto de la frecuencia de la misma en una secuencia finita, como de su frecuencia relativa en el conjunto de secuencias. Por ello, la medida en una elección P_i se encuentra en la probabilidad de mantenerse en estado i y, simultáneamente, en la posibilidad de transitar al estado j, es decir $P_i(j)$, lo que se puede describir de la siguiente forma:

$$\mathrm{Pj}=\sum_i P_i p_i(j)$$

A partir de esta representación, Shanon elabora un sistema de medición en términos de rango, con lo que la producción de información se observa en un proceso. Para ello considera un conjunto de posibles eventos ($p_1, p_2,\ldots,p_n$), de los que se conocen cada una de las probabilidades de ocurrencia, pero se ignora cuál de ellos ocurrirá. Prever el evento implica conocer el volumen de incertidumbre de cada una de las posibilidades, lo que se expresa como $H(p_1, p_2,\ldots,p_n)$ (Shanon, 1948; MacKay, 2003).

Para cumplir con el cálculo de la incertidumbre se necesitan tres propiedades:

1. Continuidad de H en p_i.

2. Si las razones de "p_i son iguales, $p_i = 1/n$, la incertidumbre (H) deberá ser una función monotónica creciente de n" (Shanon, 1948, p.10). Ello significa que una mayor cantidad de eventos probables, genera mayor incertidumbre.

3. Si una elección se bifurca en dos elecciones sucesivas, la incertidumbre general deberá ser la suma ponderada de los valores individuales de las incertidumbres individuales.

De estas propiedades se deriva el teorema de la incertidumbre:

$$H = -K \sum_{i=1}^{n} p_i \log p_i$$

donde K es una constante de valor positivo y H es la forma de entropía definida estadísticamente, y p_i representa la probabilidad de que un sistema se encuentre en la celda i en un momento específico. La incertidumbre en el caso de dos posibilidades p y q, se representa como:

$$\mathrm{H}= -(p\log p+q\log q)$$

Sin embargo, para que el teorema de la incertidumbre o entropía funcione en la comprensión de la interacción de un sistema de TH, es necesario modificar al menos dos condiciones de la propuesta de Shanon: (1) extender el modelo de matriz bidimensional a dimensiones adicionales que logren captar selecciones de cada uno de los tres elementos de la Hélice; y (2) abrir la posibilidad de que el resultado de las incertidumbres probabilísticas de cada variable, puedan medirse no sólo en unidades positivas distintas a cero, sino en valores iguales o menores a cero, para mostrar de forma precisa el grado interacción de las variables del sistema (Leydesdorff et al., 2013; Park et al., 2005; Carlsson, 2006; Cohen & Levinthal, 1990).

Leydesdorff retoma la propuesta de información mutua desarrollada por Ulanowicz en 1986, para evidenciar la sistematicidad en al menos tres conjuntos independientes de datos y distinguir el nivel de interacción nacional de las instituciones vinculadas con los sistemas de TH. Para ello empleó las direcciones postales de universidades, industria y gobierno que provee el Índice de Citación Científica (SCI), a lo que llama sinergia, que "es considerada como la reducción de incertidumbre entre las relaciones universidad-Industria-Gobierno" (Leydesdorff et al., 2013, p.13).

La información mutua en más de dos dimensiones puede surgir de la modificación de los teoremas de Shanon tal y como lo hizo Yeung (2008), pero no podrá considerarse una entropía de Shanon, ya que su valor puede expresarse en unidades positivas, negativas o iguales a cero, mientras los valores de Shanon han de ser necesariamente positivos por encima de cero (Theil, 1972). Para Abramson (1963) y McGill (1954), el valor total de esta información mutua o transmisión, es resultado de la sumatoria de la incertidumbre (H) de cada variable independiente (universidad (*u*), industria (*i*) y gobierno (*g*)), menos la incertidumbre de la información mutua de la combinación de las variables en sólo dos dimensiones (universidad/industria (ui), universidad/gobierno (ug), industria/gobierno (ig)), más la incertidumbre de información mutua en las tres dimensiones del sistema (universidad/industria/gobierno), representada en la siguiente forma:

$$T_{XYZ} = H_X + H_Y + H_Z - H_{XY} - H_{XZ} - H_{YZ} + H_{XYZ}$$

El valor de la incertidumbre probabilística para una ($Hx = -\sum P_x \log_2(p_x)$) o más variables ($Hxy = -\sum P_{xy} \log_2(p_{xy})$) emplea el logaritmo con base 2 para expresarla en bits de información. Si el valor de transmisión de las entropías probabilísticas (*TH*) es negativo, se traduce como un exceso de redundancia del sistema. Para medir el valor de *TH* se utilizan siete variables relevantes: Universidad (*u*), Industria (*i*), Gobierno (*g*), Universidad/Industria (*ui*), Universidad/Gobierno (*ug*), Industria/Gobierno (*ig*) y Universidad/Industria/Gobierno (*uig*).

La incertidumbre estadística o entropía para cada una de las dimensiones, se obtiene utilizando la sumatoria ponderada de la distribución de las unidades de análisis como sigue:

Dimensión	**Expresión de entropía**
Industria sin relación	$H_i = -\sum_i \log_2 \boldsymbol{i}$
Universidad sin relación	$H_u = -\sum_u \log_2 \boldsymbol{u}$
Gobierno sin relación	$H_g = -\sum_g \log_2 \boldsymbol{g}$
Industria/Universidad	$H_{iu} = -\sum_{iu} \log_2 \boldsymbol{iu}$
Industria/Gobierno	$H_{ig} = -\sum_{ig} \log_2 \boldsymbol{ig}$
Gobierno/Industria	$H_{gu} = -\sum_{gu} \log_2 \boldsymbol{gu}$
Industria/Universidad/Gobierno	$H_{iug} = -\sum_{iug} \log_2 \boldsymbol{iug}$

Este modelo estadístico ha sido utilizado con buenos resultados en estudios que miden la producción científica de un país en proyectos de investigación que utilizan datos de los sistemas de patentes nacionales o de la SCI como unidades de análisis (Ye et al., 2013; Park & Leydesdorff, 2010; Park et al., 2005); y en estudios econométricos donde las unidades de análisis están integradas por empresas segmentadas por su tamaño, clasificación tecnológica y domicilio, que fueron empleados como proxis de las dimensiones económica, tecnológica y gubernamental en Holanda (Leydesdorff et al., 2006), Alemania (Leydesdorff & Fritsch, 2006), Hungría (Lengyel & Leydesdorff, 2011), Noruega (Strand & Leydesdorff, 2013), Suecia (Leydesdorff & Strand, 2013) y Rusia (Perevodchikov et al., 2013).

3.2. Los datos

Para probar la utilidad del modelo, se utilizaron datos estadísticos de 2012 relacionados con la actividad económica del sector aeroespacial, debido a la plena disposición de información. Los rubros en que se concentraron fueron: (1) los programas con fondos para la investigación, desarrollo, diseño y producción en el sector aeroespacial civil o militar; (2) el origen institucional de los fondos; y (3) los correos postales de las firmas aeroespaciales y las universidades con programas de ingeniería aeroespacial. De acuerdo a la región del estudio, los datos provienen de las siguientes fuentes:

1. Para el sur de California, del Censo Económico de los Estados Unidos, el Reporte del Gasto Federal, la base de datos de los proveedores del Departamento Defensa de los Estados Unidos y la Agencia Nacional Aeronáutica y Espacial, el Buró para el Análisis Económico de los Estados Unidos, la Asociación de la Sector aeroespacial, la Cámara de Comercio de San Diego, la Cámara de Comercio del condado de Los Angeles, los reportes del Centro Nacional de Estadística para la Ciencia y la Ingeniería de la Fundación de la Ciencia Nacional de los Estados Unidos, así como reportes privados elaborados por Deloitte y AT Kearney. Del presupuesto ejercido por el Departamento de Defensa (Department Of Defense, DOD), sólo se incluyeron los contratos efectuados por el Departamento de la Fuerza Aérea (Department of the Air Force, DOAF), la Agencia de Proyectos de Investigación Avanzada de la Defensa (Defense Advanced Research Projects Agency, DARPA) y la Agencia de Defensa de Misiles (Missile Defense Agency).
2. Para Inglaterra, del Censo Económico del Reino Unido, reporte del Gasto del Reino Unido, reportes del Sistema Aeroespacial británico, la Oficina Europea de Estadística, los reportes privados elaborados por Deloitte y KPMG, los informes generales del presupuesto, así como el reporte de inversiones públicas para investigación y desarrollo de la Cámara de los Comunes.
3. Los reportes anuales disponibles de las firmas industriales dedicadas a la industria aeroespacial en ambos países.
4. Los informes anuales de las Universidades Públicas, Colegios Comunitarios y Universidades Privadas que cuentan con programas académicos relacionados con la industria aeroespacial y proyectos de vinculación, investigación y desarrollo con el sector aeroespacial público y privado en ambos países.

Como criterio de selección de las empresas aeroespaciales, se recurrió a los códigos de identificación de actividades económicas de cada una de las dos regiones, donde mientras la versión norteamericana es más exhaustiva en desagregar las actividades industriales, la nomenclatura europea tiende hacia su generalización.

1. Para el sur de California se utilizó el Sistema de Clasificación Industrial de América del Norte, y se consideraron aquellas empresas con las siguientes actividades: Fabricación de Sistema de Búsqueda, Detección, Navegación, Orientación, Aeronáutica, Náutica e Instrumentos (NAICS 334511); Fabricación de Aviones (NAICS 336411); Fabricación de Motores y Motores para Aeronaves (NAICS 336412); Fabricación de Otras Partes de Aeronaves y Equipos Auxiliares (NAICS 336413); Fabricación de Misiles Guiados y Vehículos Espaciales (NAICS 336414); Fabricación de Unidades de Propulsión Guiada de Misiles y Piezas de Propulsión (NAICS 225415); Fabricación de Otras Partes de Vehículos y Misiles Guiados y de Vehículos Auxiliares (NAICS 226419).
2. Para Inglaterra se usó la Nomenclatura de Actividades Económicas dentro de la Comunidad Europea, seleccionando las empresas cuya principal actividad sea: Fabricación de Aeronaves, Vehículos Espaciales y Maquinaria Relacionada (NACE 30.3.0) y Fabricación de Vehículos Militares de Combate (NACE 30.4.0).

Los datos a considerar para definir la incertidumbre de la información mutua, son: (1) proyectos o contratos de las firmas, universidades y gobierno sin relación con el resto de los componentes de la hélice, (2) contratos del gobierno federal con la industria aeroespacial, (3) subsidios federales a universidades y (4) programas de vinculación entre universidad e industria correspondientes a las dimensiones industria (i), universidad (u), gobierno (g), industria/universidad (iu), industria/gobierno (ig), gobierno/universidad (gu) e industria/universidad/gobierno (iug). Como proxi se utilizó la distribución geográfica (zc), utilizando los códigos postales de la industria, universidad y departamento o agencia federal de la región. Se considera además: (1) que los proyectos de vinculación serán sólo aquellos que aportan fondos públicos o privados para actividades de investigación, desarrollo y/o diseño, así como los contratos públicos o privados para la manufactura de productos finales o partes de productos para el mercado aeroespacial; (2) que los programas universitarios son sólo aquellos programas de ingeniería aeroespacial que cuentan con un plan de estudios propio, de modo que una misma institución puede tener uno o varios programas siguiendo este criterio; (3) que las agencias

gubernamentales son las que operan fondos fiscales federales o estatales, cuyas funciones primarias se relacionan con el sector aeroespacial.

4. Resultados

De los 2,156 contratos, subsidios, proyectos de investigación y desarrollo y proyectos de vinculación de la industria, universidades y gobierno federal de las nueve regiones económicas de California, el porcentaje que corresponde a unidades sin información recíproca son: 14.05% a industria, 0.46% a gobierno y 1.3% a universidades. Los porcentajes correspondientes a binomios de unidades son: 42.53% a gobierno-industria, 25.46% a gobierno-universidad y 11.5% a universidad-industria; y 4.68% corresponde a unidades con relación gobierno-industria-universidad.

Cuadro 1. Resultados para el Sur de California.

Programas	#					
Industria sin relación	303					
Gobierno sin relación	10	**DOD**	**NASA**		**NSF**	**Univ.**
Universidades sin relación	28	**Contratos**	**Contratos**	**Subv.**	**Subv.**	**Vinculación+ R&D**
Gobierno-Industria	917	591	293	29	4	0
Gobierno-Universidad	549	7	5	535	2	0
Universidad-Industria	248	0	0	0	0	248
Gob-Ind-Univ	101	67	0	14	0	20
Suma	2156	665	298	578	6	268

Fuente: Elaboración propia.

De las 332 interacciones de los componentes de la TH en los principales condados del Noroeste de Inglaterra, considerando las mismas fuentes, el porcentaje que corresponde a unidades sin información recíproca son: 31.6% a industria, 1.2% a gobierno y 1.8% a universidades. Los porcentajes correspondientes a binomios de unidades son: 44% a gobierno-industria, 6.6% a gobierno-universidad, 6.9% a universidad-industria; y 7.8% corresponde a unidades con relación gobierno-industria-universidad.

Cuadro 2. Resultados del Noroeste de Inglaterra.

Programas	#		
Industria sin relación	105		
Gobierno sin relación	4	**Departamento de Negocios, Energía y Estrategia Industrial**	**Univ. Vinculación+ R&D**
Universidades sin relación	6	**Fondos de financiación**	
Gobierno-Industria	146	146	NA
Gobierno-Universidad	22	22	NA
Universidad-Industria	23	23	NA
Gob-Ind-Univ	26	26	NA
Suma	332		NA

Fuente: Elaboración propia.

El cálculo del valor de la incertidumbre probabilística de cada unidad de análisis, así como el valor de transmisión de todo el sistema de innovación aeroespacial en el Sur de California, estimado por la expresión Tgui=Hi+Hg+Hu-Hgi-Hgu-Hui+Hgui es -0.6639. Esto significa bajos niveles de incertidumbre probabilística (entropía) y altos niveles de interacción entre los componentes del sistema de innovación de TH. Por el contrario, el valor de la incertidumbre probabilística en el Noroeste de Inglaterra, es -0.0530, por lo que su sistema de innovación tiene un menor nivel de interacción.

Cuadro 3. Valor de la incertidumbre del sistema.

Programas	Sumatoria $\sum p_i$		Incertidumbre probabilística $(-)\sum p_i Log_2 p_i$		Unidad de observación
	SCalifornia	NO Inglaterra	SCalifornia	NO Inglaterra	
Industria sin relación	-0.1405	-0.3162	0.3978	0.5252	H*i*
Gobierno sin relación	-0.0046	-0.0120	0.0359	0.0768	H*g*
Universidades sin relación	-0.0129	-0.0180	0.0813	0.1046	H*u*
Gobierno-Industria	-0.4253	-0.4397	-0.5245	-0.5212	H*gi*
Gobierno-Universidad	-0.2546	-0.0662	-0.5025	-0.2594	H*gu*
Universidad-Industria	-0.1150	-0.0692	-0.3588	-0.2668	H*ui*
Gob-Ind-Univ	-0.0468	-0.0783	0.2068	0.2877	H*gui*
Suma	-1	-1	**-0.6639**	**-0.0530**	**T*gui***

Fuente: Elaboración propia.

A mayor detalle, la aportación específica de cada región económica del Sur de California en la interacción entre dos de los tres ejes del modelo, indica que Southern California es la región que mayor interacción tiene en el binomio gobierno-industria, con el 26.25% del total de las relaciones, seguida de Southern Border con 23.97 y Bay Area con el 23.36%. Igual ocurre con la aportación a la interacción entre industria y universidad en Southern California, con el 26.4%, en tanto que Southern Border, con el 24.66% y Bay Area, con el 21.02%, aportan el segundo y tercer mayor nivel de interacción. Del mismo modo ocurre en la interacción del binomio gobierno-universidad, donde Southern California aporta el 32.94% de la interacción total, aunque se invierte la aportación entre Bay Area y Southern Border con el 32.82% y el 20.84% de la interacción. Finalmente, en la interacción de tres ejes del modelo, Bay Area tiene la mayor aportación al sistema con el 33.11% de las interacciones, seguida de Southern California con 29.44% y Southern Border con 24.87%.

En el Noroeste de Inglaterra, Greater Manchester es el condado con la mayor aportación en el binomio Gobierno-Industria, con el 36.5% del total, seguido por Lancashire con 32.8% y Merseyside con 30.75%. Lo mismo ocurre en la interacción Industria-Universidad, donde el clúster más grande de Inglaterra, Greater Manchester, encabeza la participación con 46.1%, mientras que Lancashire lo hace con el 27.4% y Merseyside con el 26.48%. El nivel de relación más estrecha entre Gobierno e Industria la aporta Greater Manchester con 49%, mientras que Merseyside participa con 42.4% y Lancashire con el 8.5%. En la interacción de la TH, es Lancashire el condado con la mayor aportación del conjunto con 45.6%, seguido de Greater Manchester con el 30.32% y Merseyside con 24.08%.

Cuadro 4. Incertidumbres probabilísticas por región en California NO de Inglaterra.

Región	Gobierno-Industria		Industria-Universidad		Gobierno-Universidad		Gob-Ind-Univ	
	Entropía	**% Pa.**	**Entropía**	**% Pa.**	**Entropía**	**% Pa.**	**Entropía**	**% Pa.**
California								
Southern Border	-0.4383	23.97 %	-0.457	24.67 %	-0.3325	20.84 %	-0.3651	24.87 %
Southern California	-0.4801	26.25 %	-0.4893	26.4 %	-0.5255	32.94 %	-0.4322	29.44 %
Central Coast	-0.318	17.39 %	-0.1465	7.9 %	-0.2137	13.4%	-0.1845	12.57 %
Bay Area	-0.4272	23.36 %	-0.3897	21.02 %	-0.5235	32.82 %	-0.4861	33.11 %
Greater Sacramento	-0.1457	7.97 %	-0.371	20.01 %	SC	SC	SC	SC
San Joaquin	-0.0193	1.05 %	SC	SC	SC	SC	SC	SC
Noroeste Inglaterra								
Greater Manchester	-0.5269	36.51 %	-0.1776	27.41 %	-0.4643	49.09 %	-0.2160	30.32 %
Lancashire	-0.4736	32.82 %	-0.2987	46.10 %	-0.0805	8.51 %	-0.3248	45.59 %
Merseyside	-0.4438	30.75 %	-0.1716	26.48 %	-0.4010	42.39 %	-0.1716	24.08 %

NOTAS: Gob-Ind-Univ: interacción entre Gobierno, Industria y Universidad.
% Ap: porcentaje de participación del total de interacciones.
SC: sin casos suficientes como para que sea relevante.

Fuente: Elaboración propia.

5. Discutiendo la interacción en sistemas de innovación de TH eroespacial

De acuerdo a lo planteado en la revisión de literatura y la metodología, los resultados menores, incluyendo los números negativos, son indicativo de mayores niveles de entropía, que reducen la incertidumbre en los procesos de interacción de las unidades analizadas. Ambos sistemas de TH del Sur de California y del Noroeste de Inglaterra, obtuvieron entropías negativas, -0.6639 y -0.0530 respectivamente, lo que significa que ambos tienen niveles de incertidumbre reducidos y, por tanto, sus procesos de circulación del recurso humano, información y productos son óptimos, de acuerdo con estimaciones realizadas en otras regiones (Strand & Leydesdorff, 2013; Perevodchikov et al., 2013; Leydesdorff & Strand, 2013; Lengyel & Leydesdorff, 2011; Leydesdorff et al., 2006; Leydesdorff & Fritsch, 2006).

Cuadro 5. Comparación de entropías en sistemas regionales de innovación.

Unidades de análisis	Incertidumbres Probabilística	
	Sur de California	**Noroeste de Inglaterra**
Industria sin relación	**0.3978**	0.5252
Gobierno sin relación	**0.0359**	0.0768
Universidades sin relación	**0.0813**	0.1046
Gobierno-Industria	**-0.5245**	-0.5212
Gobierno-Universidad	**-0.5025**	-0.2594
Universidad-Industria	**-0.3588**	-0.2668
Gob-Ind-Univ	**0.2068**	0.2877
Suma	**-0.6639**	**-0.0530**

Fuente: Elaboración propia.

En la comparación de incertidumbre, el sistema de innovación aeroespacial inglés tiene niveles de incertidumbre significativamente superiores al de California. En dos de los tres condados que forman parte de este estudio, la entropía tiene valores positivos, por lo que los niveles de incertidumbre en el sistema son elevados, aún cuando el sistema regional en general se mantiene dentro de los parámetros con valores inferiores a cero. Al comparar el valor de las incertidumbres de las Unidades de Análisis de cada uno de estos sistemas, en el Noroeste de Inglaterra todas las unidades sin relación tienen valores más altos de incertidumbre que las del sistema californiano. Esto se explica por el menor número de organizaciones e interacciones que participan en el proceso de innovación. Al ser California el centro aeroespacial más grande del mundo, la cantidad de firmas y universidades es significativamente más alto que Inglaterra.

En el caso de los programas gubernamentales, en Estados Unidos se operan mediante fondos públicos por separado, entre los que se incluye el Departamento de Defensa (DOD), la Agencia Aéreo Espacial Nacional (NASA) y la Fundación Nacional para la Ciencia (NSF). Por su parte, el gobierno inglés concentra todos los recursos en un solo fondo administrado por el Departamento de Negocios, Energía y Estrategia Industrial (BEIS), incluidos aquellos recursos del Ministerio de Defensa. La reducción del número de participantes e interacciones, explica que California tenga niveles de incertidumbre más bajos que Inglaterra en las interacciones Universidad-Industria, Industria-Gobierno, y una diferencia particularmente alta en Universidad-Gobierno.

Los fondos gubernamentales para investigación y desarrollo de la industria aeroespacial en el Sur de California, provienen tanto de contratos directos del DOD y la NASA, como de subsidios para la investigación otorgados por la NSF y la NASA, lo que incrementa y diversifica el número de participantes e interacciones. Adicionalmente, las universidades estatales del Sur de California desarrollan programas de vinculación con el sector privado. Esto les ha permitido organizar Centros de Investigación con líneas de investigación orientadas a resolver problemas particulares de la industria.

En el sistema de innovación del Noroeste de Inglaterra, la interacción más sólida es la del binomio Industria-Gobierno, debido a que los fondos para subsidios y contratos operados por el BEIS, se gestionan en forma directa y en su gran mayoría (80%) con las industrias, siendo éstas las que definen si los desarrollos se realizarán con la participación de las Universidades. El país tiene recursos del Departamento de Educación, dedicado al fortalecimiento de los programas educativos y la investigación en las Universidades apoyando proyectos e infraestructura escolar para el desarrollo de programas de investigación y desarrollo. En consecuencia, estos centros de investigación financiados no requieren de fondos concurrentes privados, por lo que la interacción Universidad-Industria representa una de las áreas de oportunidad que empiezan a aprovecharse en Reino Unido.

6. Conclusiones

Al comparar la interacción entre las tres Unidades de Análisis, Universidad-Industria-Gobierno, se observa que en el Noroeste de Inglaterra tienen mayores niveles de incertidumbre que en el Sur de California. Solo Greater Manchester tiene valores negativos de entropía, por lo que en ese condado el proceso de interacción es substancialmente más eficiente que en el resto de la región. Esto permite mantener los valores óptimos de incertidumbre en el resto del sistema de innovación inglés. Esto es resultado de la dinámica establecida por los CI de las Universidades del condado, los proyectos de investigación y desarrollo, así como los programas de vinculación con la industria, lo que permite que las Universidades puedan atraer recursos que ajustan el proceso de interacción a valores más eficientes del proceso de innovación de TH.

En el caso de California, todas las regiones económicas tienen niveles reducidos de entropía, por lo que los procesos de interacción son adecuados al ciclo de innovación planteado. De acuerdo con estos valores, la circulación de recursos humanos, información y productos, está integrada de forma más eficiente. Los programas de prácticas en la industria incluyen la concurrencia de académicos

vinculados, no sólo con los procesos de formación de estudiantes, sino a proyectos de investigación. A este recurso humano se le promueve para realizar estancias parciales o totales en las firmas del sector, lo que permite desarrollar capital humano con las competencias óptimas para interactuar eficientemente en las tres hélices, identificar de forma directa las problemáticas en la interacción y proponer soluciones.

En ambos casos, los procesos de intercambio de información entre las hélices son muy eficientes y mantienen canales intra e inter institucionales abiertos, efectivos y seguros para la aglomeración, disposición y análisis de datos necesarios para la toma de decisiones. No obstante, los resultados son diferenciados. Esto sugiere que debido a la dinámica de la industria aeroespacial, la evolución de la tecnología para el desarrollo de productos y servicios finales, y la sofisticación de los procesos de producción, este trabajo debe considerarse como un insumo para explorar nuevas metodologías que permitan complementar sus alcances en una perspectiva de sistemas regionales de innovación, que involucra más que los componentes asociados a la triple hélice, a partir de mejorar los sistemas de información necesarios para ello.

Los resultados no ofrecen un índice que permita medir el desempeño absoluto de la TH y predecir su evolución o resultados. Sin embargo, facilita el desarrollo de parámetros que describen el estado del modelo en un momento específico en el tiempo. Para mejorarlo, sería necesario anualizar mediciones como la presente, para entender los procesos evolutivos que dan razón al modelo inicial propuesto por Leydesdorff & Etzkowitz (1998), y cómo han influido las políticas públicas en la industria, la transformación de la dinámica académica, el avance del campo de investigación y los requerimientos del mercado.

Por otro lado, es necesario avanzar en procedimientos complementarios que ayuden a predecir el comportamiento de la evolución del modelo y permitan un desarrollo más armonioso y dinámico del proceso de producción de innovaciones. Al respecto se están explorando procedimientos de mínimos cuadrados ordinarios y se empiezan a desarrollar metodologías para la investigación de redes que faciliten la comprensión de los sistemas de interacción y circulación, dentro y fuera del ecosistema (Leydesdorff et al., 2013, 2017).

Conviene insistir en ajustar las unidades de análisis, para evitar la asimetría en la disposición de la información entre los distintos países y regiones. Mientras el código industrial utilizado en Norteamérica (NAIC), es más exhaustivo al desglosar actividades industriales y de servicios, los códigos europeos (NACE) o internacional de la OMC, suelen ser mucho más generales en su sistema de clasificación. Durante la Conferencia Internacional de la Triple Hélice celebrada en Manchester en 2019, Loet Leydesdorff revisó los resultados descritos en este trabajo y expresó lo preocupante que resulta la insuficiencia o poca disponibilidad de las bases de datos necesarias para hacerlo en países en vías en desarrollo. A futuro, será la mejora en la información y en su disponibilidad, la que permita avanzar en la investigación sobre la interacción en los sistemas de innovación.

Referencias

Abramson, N. (1963). *Information theory and codin.* Nueva York: McGraw-Hill.

Adler, P. (2001). Market, Hierarchy, and Trust: The Knowledge Economy and the Future of Capitalism. *Organization Science, 12*, 15-234.

Adner, R. (2006). Match Your Innovation Strategy to Your Innovation Ecosystem. *Harvard Business Review, 4*(84), 1-11.

Aghion, P. & Howitt, P. (1990). A Model of Growth Through Creative Destruction. *NBER Working Paper Series, 2*, 323-351. https://doi.org/10.2307/2951599

Avaro, D. (2011). Ciencia, universidades e investigadores: agendas, desafíos y prácticas, Ciencia, universidades e investigadores: agendas, desafíos y prácticas. http://www.cloud.7tres.com/P037b.pdf

Carlsson, B. (2006). *Internationalization of Innovation Systems: A Survey of the Literature*, Conference in honor of Keith Pavitt: What Do We Know about Innovation? Sussex, UK: Science & Technology Policy Research. https://www.sciencedirect.com/science/article/abs/pii/S0048733305001757

Castells, M.C. (2006). *The network society: From knowledge to policy*. Washington, DC: Johns Hopkins Center for Transatlantic Relations.

Cohen, W.M., & Levinthal, D. A. (1990). Absorptive capacity: A new perspective on learning and innovation. *Administrative science quarterly*, *1*(35), 128-152. https://doi.org/10.2307/2393553

David, P.A., & Foray, D. (2002). An introduction to the economy of the knowledge society. *International Social Science Journal*, *171*(54), 9-23. https://doi.org/10.1111/1468-2451.00355

Dosi, G., Marengo, L., & Fagiolo, G. (2003). Learning in evolutionary environments. *LEM Working Paper Series*.

Etzkowitz, H. (2003). Innovation in Innovation: The Triple Helix of University-Industry-Government Relations. *Social Science Information, 3*(42), 293-337.

Etzkowitz, H., & Klofsten, M. (2005). The innovating region: toward a theory of knowledge-based regional development. *R&D Management*, *3*(35), 243-255. https://doi.org/10.1111/j.1467-9310.2005.00387.x

Etzkowitz, H., & Leydesdorff, L. (2000). The dynamics of innovation: from National Systems and Mode 2 to a Triple Helix of university–industry–government relations. *Research Policy*, *2*(29), 109-123.

Etzkowitz, H., & Ranga, M. (2010). A Triple Helix system for knowledge-based regional development: from spheres to spaces, VIII Triple Helix Conference (pág. 129), Triple Helix Asociation.

Etzkowitz, H., & Zhou, C. (2007). Regional innovation initiator: the entrepreneurial university in various triple helix models, Triple Helix 6th Conference theme paper, Singapore, Singapur.

Feldman, J.M. (2001). Towards the post-university: Centres of higher learning and creative spaces as economic development and social change agents. *Economic and Industrial Democracy, 1*(22), 99-142. https://doi.org/10.1177/0143831X01221005

Feldman, J.M. (2007). The managerial equation and innovation platforms: the case of Linköping and Berzelius science park. *European Planning Studies, 8*(15), 1027-1045. https://doi.org/10.1080/09654310701448162

Hauge, A. (2008). Knowledge economies: innovation, organization and location by Wilfred Dolfsma. *Journal of Economic Geography, 9*, 285-287. https://doi.org/10.1093/jeg/lbn037

Hermens, F. (1941). Democracy or anarchy? A study of proportional representation. Notre Dame: Review of politics, University of Natre Dame.

Human Sciences and Technologies Advanced Research Institute (2011). The Triple Helix concept | Triple Helix IX International Conference 11-14 July 2011. http://www.triplehelixconference.org/th/9/the-triple-helix-concept.html

Islam, R. (2010). Human capital composition, proximity to technology frontier and productivity growth. *Department of Economics, discussion paper, 10*(23), 1-41.

Ivanova, I.A., & Leydesdorff, L. (2014). Rotational symmetry and the transformation of innovation systems in a Triple Helix of university-industry-government relations. *Technological Forecasting and Social Change*, *86*, 143-156. https://doi.org/10.1016/j.techfore.2013.08.022

Lengyel, B., & Leydesdorff, L. (2011). Regional innovation systems in Hungary: the failing synergy at the national level. *Regional Studies, 5*(45), 677-693. https://doi.org/10.1080/00343401003614274

Leydesdorff, L., & Etzkowitz, H. (1998). The triple helix as a model for innovation studies. *Science and public policy, 3*(25), 195-203.

Leydesdorff, L., & Fritsch, M. (2006). Measuring the knowledge base of regional innovation systems in Germany in terms of a Triple Helix dynamics. *Research Policy, 10*(35), 1538-1553. https://doi.org/10.1016/j.respol.2006.09.027

Leydesdorff, L., & Meyer, M. (2006). Triple Helix indicators of knowledge-based innovation systems: Introduction to the special issue. *Research Policy, 10*(35), 1441-1449. https://doi.org/10.1016/j.respol.2006.09.016

Leydesdorff, L., & Strand, Ø. (2013). The Swedish System of Innovation: Regional Synergies in a Knowledge Based Economy. *Journal of the Association for Information Science and Technology, 9*(64), 1890–1902. https://doi.org/10.1002/asi.22895

Leydesdorff, L., Dolfsma, W., & Van der Panne, G. (2006). Measuring the knowledge base of an economy in terms of triple-helix relations among technology, organization, and territory. *Research Policy, 2*(35), 181-199. https://doi.org/10.1016/j.respol.2005.09.001

Leydesdorff, L., Etzkowitz, H., Ivanova, I., & Meyer, M. (2017). The Measurement of Synergy in Innovation Systems: Redundancy Generation in a Triple Helix of University-Industry-Government Relations, *SPRU Working Paper Series*, 1-52. https://doi.org/10.2139/ssrn.2937647

Leydesdorff, L., Park, H.W., & Lengyel, B. (2013). A routine for measuring synergy in university–industry–government relations: mutual information as a Triple-Helix and Quadruple-Helix indicator. *Scientometrics, 1*(99), 27-35. https://doi.org/10.1007/s11192-013-1079-4

Lowe, C.U. (1982). The triple helix-NIH, industry, and the academic world. *The Yale Journal of Biology and Medicine, 3*(5), 239-246.

MacKay, D.J. (2003). *Information theory, inference and learning algorithms*. Cambridge University press.

Martin-de-Castro, G.L. (2008). Processes of knowledge creation in knowledge-intensive firms: Empirical evidence from Boston's Route 128 and Spain. *Technovation, 4*(28), 222-230. https://doi.org/10.1016/j.technovation.2007.10.002

McGill, W.J. (1954). Multivariate information transmission. In Transactions of the IRE Professional Group on Information Theory. *Psychometrika*, *19*, 97-116. https://doi.org/10.1109/TIT.1954.1057469

Moore, J. (2006). Business ecosystems and the view from the firm. *Antitrust Bulletin, 1*(51), 51-75.

Park, H.W., & Leydesdorff, L. (2010). Longitudinal trends in networks of university–industry–government relations in South Korea: The role of programmatic incentives. *Research Policy, 5*(39), 640-649. https://doi.org/10.1016/j.respol.2010.02.009

Park, H.W., Hong, H.D., & Leydesdorff, L. (2005). A comparison of the knowledge-based innovation systems in the economies of South Korea and the Netherlands using Triple Helix indicators. *Scientometrics, 2*(25), 3-27. https://doi.org/10.1007/s11192-005-0257-4

Perevodchikov, E., Uvarov, A., & Leydesdorff, L. (2013). Measuring synergy in the Russian innovation system, 12th international conference about the triple helix of university-industry-government relations. Londres.

Peters, L., & Etzkowitz, H. (1990). University-industry connections and academic values. *Technology in Society, 4*(12), 427-440. https://doi.org/10.1016/0160-791X(90)90013-3

Powell, W., & Snellman, K. (2004). The Knowledge Economy. *Annual Review of Sociology*, *30*, 199-220. https://doi.org/10.1146/annurev.soc.29.010202.100037

QS World University Rankings (2014). QS World University Rankings by Subject 2014-Engineering-Mechanical, Aeronautical & Manufacturing. Top Universities. QS World University Rankings.

Ranga, M., & Etzkowitz, H. (2013). Triple Helix systems: an analytical framework for innovation policy and practice in the Knowledge Society. *Industry and Higher Education, 4*(27), 237-262. https://doi.org/10.5367/ihe.2013.0165

Rohrbeck, R., Hölzle, K., & Gemünden, H.G. (2009). Opening up for competitiveadvantage. How DeutscheTelekom creates an open innovation ecosystem. *R&D Management*, *4*(39), 420-430. https://doi.org/10.1111/j.1467-9310.2009.00568.x

Sabato, J., Makenzie, M., Brown, L., Mosher, A., Murmis, M., Bengoa, J., et al. (1982). La producción de tecnología: autónoma o transnacional. Mexico, D.F.: Instituto Latinoamericano de Estudios Transnacionales.

Schumpeter, J.A. (1934). *Essays of JA Schumpeter*. Boston: Adisson -Wesley Press.

Shanon, C. (1948). A mathematical theory of communication. *The Bell systems technical journal*, *27*, 379-423. https://doi.org/10.1002/j.1538-7305.1948.tb01338.x

Strand, Ø., & Leydesdorff, L. (2013). Where is synergy indicated in the Norwegian innovation system? Triple-Helix relations among technology, organization, and geography. *Technological Forecasting and Social Change*, *3*(80), 471-484. https://doi.org/10.1016/j.techfore.2012.08.010

Theil, H. (1972). *Statistical decomposition analysis with applications in the social and administrative sciences (4)*. Londres, Inglaterra: London North-Holland.

Ye, F.Y., Yu, S.S., & Leydesdorff, L. (2013). The Triple Helix of University Industry Government Relations at the Country Level, and its Dynamic Evolution under the Pressures of Globalization. *Journal of the American Society for Information Science and Technology, 11*(64), 2317-2325. https://doi.org/10.1002/asi.22931

Yeung, R.W. (2008). *Information theory and network coding.* New York: Springer Science & Business Media.

REVISTA DE MÉTODOS CUANTITATIVOS PARA LA ECONOMÍA Y LA EMPRESA (33). Páginas 326-352.
Junio de 2022. ISSN: 1886-516X. D.L: SE-2927-06.
www.upo.es/revistas/index.php/RevMetCuant/article/view/5531

Influencia de las características sociodemográficas personales en el éxito empresarial en Perú

LEÓN MENDOZA, JUAN CELESTINO
Universidad Nacional del Callao (Perú)
Correo electrónico: jleonm@unmsm.edu.pe

VALCÁRCEL PINEDA, PAOLO
Universidad Nacional del Callao (Perú)
Correo electrónico: paolovp91@gmail.com

RESUMEN

Este estudio tiene como objetivo identificar las características sociodemográficas del propietario de una empresa o negocio que influyen en la consecución del éxito empresarial en Perú. Tomando la información de la Encuesta Nacional de Hogares sobre Condiciones de Vida y Pobreza del año 2018, se efectuaron estimaciones econométricas con el método de los Mínimos Cuadrados Ordinarios. Concebido el éxito empresarial como la magnitud de la ganancia obtenida, los resultados econométricos indican que su consecución está condicionada por el género, la edad, los años de educación alcanzada, el estado de salud, el estado civil, el número de hijos, la pertenencia a una red social, la autopercepción étnica, la persistencia empresarial y la intensidad en el uso del internet. Asimismo, el logro del éxito empresarial también está influenciado por factores considerados como variables de control en este estudio, como son el tamaño de la empresa, el uso de sistemas contables y la localización regional y zonal.

Palabras clave: éxito empresarial, ganancia empresarial, características sociodemográficas personales, gestión empresarial.
Clasificación JEL: C52; M21.
MSC2010: 62P20.

Artículo recibido el 20 de diciembre de 2020 y aceptado el 9 de septiembre de 2021.

Influence of personal sociodemographic characteristics on business success in Peru

ABSTRACT

This study aims to identify the business owners' sociodemographic characteristics that influence the achievement of business success in Peru. Using data from the 2018 National Household Survey on Living Conditions and Poverty, econometric estimates were made with the Ordinary Least Squares method. Considering the success of a business as the magnitude of the profit obtained, the econometric results indicate that its achievement is conditioned by gender, age, years of education achieved, state of health, marital status, number of children, belonging to a social network, ethnic self-perception, business persistence and intensity of internet use. Likewise, the achievement of business success is also influenced by factors considered as control variables in this study, such as the size of the company, the use of accounting systems and the regional and zonal location.

Keywords: business success, business profit, personal sociodemographic characteristics, business management.
JEL classification: C52; M21.
MSC2010: 62P20.

1. Introducción

El Perú, en concordancia con una alta tasa de cierre de empresas, presenta una baja tasa de éxitos de empresas de reciente creación. Así, según Serida et al. (2020), el porcentaje de la población emprendedora que cierra su empresa o negocio es igual a 7,6%, el mismo que está por encima del promedio de los países de América Latina, y que aproximadamente solo el 5% de los nuevos emprendimientos empresariales logran tener éxito.

Vidyatmoko y Hastuti (2017) y Lampadarios et al. (2017) indican que los factores que determinan el éxito empresarial son multidimensionales y que pueden ser agrupados en tres categorías: el emprendedor, la empresa y el entorno externo. Dichos autores sostienen que la empresa y el entorno condicionan el éxito empresarial a través de los atributos sociodemográficos del emprendedor. En el mismo sentido, Kader et al. (2009) y Chitra et al. (2013) clasifican los factores de éxito empresarial en internos y externos y dentro de los internos destacan los aspectos personales del empresario. En esta línea, Barine (2021), Odunsi (2021) e Islam et al. (2011) señalan que las características personales del emprendedor son mucho más importantes que las características de la empresa. Sin embargo, según Vallabh y Mhlanga (2015), pese al gran impacto que tienen las características sociodemográficas personales en el desempeño exitoso de las empresas, los estudios en general han prestado relativamente poca atención a este aspecto muy importante.

Asimismo, Khan y Quaddus (2018) sostienen que el desempeño de una empresa depende de los factores demográficos y psicográficos del individuo, pero que lo demográfico es lo más importante, debido a que afecta el desempeño empresarial de manera directa y también indirectamente a través de su influencia en los aspectos psicográficos. A su vez, Tanveer et al. (2013) señalan que las características personales influyen sobre el éxito empresarial a través de su impacto en las capacidades de gestión del emprendedor. De ahí que en el ámbito internacional exista una apreciable cantidad de investigaciones empíricas que muestran que las características personales de los emprendedores tienen efectos directos y significativos en el éxito de las empresas (Amiruddin et al*.,* 2020; Shakeel et al., 2020; Utomo et al., 2020; Zhang & Bruning, 2011; Sarwoko & Frisdiantara, 2016; Sarwoko & Hadiwidjojo, 2013; Sola, 2013; Abdulwahab & Al-Damen, 2015; Sajilan et al., 2015; Zannah et al., 2017; Noor et al., 2018).

El propietario de la empresa y sus características personales son cruciales y mucho más importantes para el éxito empresarial en la medida en que los negocios son pequeños, debido a que éstos usualmente son gestionados directamente por ellos mismos (Radzi et al., 2017; Al-Tit et al., 2019). En esta línea, Krasniqi y Tullumi (2013) sostienen que en el caso de los negocios pequeños, los factores que controlan los propietarios son mucho más relevantes que los factores externos. Finalmente, tal como sintetiza Oyedele et al. (2014), si bien el éxito empresarial depende de muchos factores, sin embargo, se cree que el mayor determinante es el propio empresario emprendedor.

Dada la importancia de los aspectos personales del empresario para el éxito empresarial y pese al escenario de una baja tasa de empresas exitosas, en Perú no existen estudios econométricos al respecto. Por ello, el objetivo del presente artículo consiste en identificar las variables correspondientes a las características sociodemográficas del propietario de una empresa que determinan la consecución del éxito empresarial en el caso peruano. Con tal fin, utilizando la información proporcionada por la Encuesta Nacional de Hogares sobre Condiciones de Vida y Pobreza del año 2018, se efectúan las regresiones econométricas correspondientes utilizando la técnica de los Mínimos Cuadrados Ordinarios.

2. Revisión de literatura

En principio, se debe precisar que en el marco en que se cuenta con una gran cantidad de estudios sobre el éxito empresarial, según Lampadarios, Kyriakidou y Smith (2017), no existe una única definición y

una teoría unificada sobre el mismo. Por ejemplo, Vidyatmoko y Hastuti (2017) definen y representan el éxito empresarial mediante tres indicadores: rentabilidad, crecimiento del empleo y la supervivencia de la empresa. Asimismo, Perren (2000) considera también tres indicadores: ingresos, crecimiento y rentabilidad. En tal sentido, se puede entender por éxito empresarial básicamente al crecimiento en el empleo y/o producción de la empresa, o la obtención de altos niveles de ingreso y/o rentabilidad, es decir, al buen desempeño empresarial.

Los estudios empíricos usualmente consideran, como principales factores sociodemográficos que determinan el logro del éxito empresarial al género, la edad, la educación, la experiencia empresarial, el estado civil, entre otros (Soomro et al., 2019; Masuo et al., 2001; Opoku-Afriyie, 2019). Por ello, en seguida se expone de manera sistematizada la literatura existente en el ámbito internacional al respecto. También se desarrolla el rol explicativo de algunas variables relevantes correspondientes a la empresa y a la localización geográfica, ello en la condición de variables de control.

2.1. Género

El aspecto del género es una variable muy importante en la determinación del desempeño de la empresa (Radipere & Dhliwayo, 2014), e influye de manera directa e indirecta en el éxito empresarial, especialmente en los pequeños negocios (Bird et al., 2001). Hachana et al. (2018) sostienen que el éxito empresarial está condicionado por los rasgos de personalidad de los emprendedores, pero que el aspecto del género modera dicha relación. Según el estudio de Yusuff (2014) para Nigeria, los factores personales que determinan el desempeño de las empresas de propiedad de los varones son diferentes a los de las propietarias mujeres: para las mujeres, el estado civil y la edad de los niños son los más importantes, en tanto que los amigos para los varones.

Según Lucas (2017), los varones alcanzan mayores niveles de éxito empresarial que las mujeres, debido a que son más propensos a correr riesgos, además de que gozan de mayor tiempo disponible en la medida en que asumen menores cargas familiares. Asimismo, Merrett y Gruidl (2000) sostienen que las mujeres enfrentan más obstáculos que los varones en la consecución del éxito empresarial. En ese sentido, los estudios de Essel et al. (2019), Akinyemi et al. (2017), Osunsan (2015), entre otros, muestran que los emprendedores masculinos tienen mayores probabilidades de éxito empresarial.

Existe un predominio de estudios que indican que el empresario masculino muestra en promedio un mejor desempeño. Pero también se cuenta con investigaciones que presentan una mayor probabilidad de éxito para las mujeres. Por ejemplo, en la investigación realizada para Malawi por Chirwa (2008), se encontró que las empresas de propiedad de las mujeres tenían un mejor desempeño en el crecimiento y que en ellas la educación jugaba un rol muy importante. Asimismo, el estudio de Félix y David (2019) en Portugal, mostró que las empresas familiares donde había participación de alguna mujer en la dirección, el rendimiento de los negocios era mayor comparado con aquellos donde había sólo varones. A su vez, la investigación efectuada en Ghana por Owoo et al. (2019), encontró que aquellas empresas operadas por las mujeres arrojaban un mejor desempeño en términos de crecimiento, si éstas se formalizaban.

También hay investigaciones que señalan que el aspecto de género no es un elemento diferenciador para el éxito empresarial. El estudio efectuado por Robb y Watson (2012) para EE.UU. halló que si se controlan adecuadamente las diferentes variables demográficas, no existían diferencias entre el desempeño de las nuevas empresas propiedad de las mujeres y los varones. Un resultado similar fue hallado por Olakitan y Ayobami (2011) para Nigeria.

2.2. Edad

La relación entre la edad del empresario y el éxito empresarial es controvertida. Algunos estudios arrojan la existencia de una relación en sentido directo o positivo, en tanto que otros, en sentido inverso o negativo.

Aquellos que muestran una relación positiva, fundamentan que a mayor edad se cuenta con una mayor cantidad de recursos acumulados (conocimientos, habilidades, educación, experiencia, capital financiero, relaciones sociales) y que ello coadyuva a la consecución del éxito. En esta línea están los trabajos empíricos de Kassa (2021), Mozumdar et al. (2020), Soomro et al. (2019), Soejono et al. (2015), Aworemi et al. (2010); sin embargo, esta relación positiva tiende a no ser lineal, sino curvilínea y decreciente. Así, según el estudio efectuado por Akinyemi et al. (2017) para Nigeria, en la medida en que aumenta la edad del empresario, se eleva la probabilidad de un buen desempeño hasta los 42 a 49 años, pero luego decrece. Desde una perspectiva econométrica, un resultado similar fue hallado por Millán et al. (2014) para la Unión Europea y Alvarado et al. (2018) para México, donde las regresiones econométricas efectuadas, arrojaron un signo positivo para la variable edad y un signo negativo para la edad elevada al cuadrado.

Bajo el argumento de que los empresarios jóvenes son más dinámicos que los adultos, también se cuenta con estudios que muestran la existencia de una relación inversa entre la edad y el éxito empresarial (Tarwi et al., 2020; Wekesa et al., 2016, para Kenya; Escuder, 2012, para República Dominicana; Chowdhury et al., 2013, para Bangladesh; Martey et al., 2013, para Ghana).

En contraposición de las dos perspectivas señaladas, la investigación de Osunsan et al. (2015) halla que la edad no tiene importancia para el logro de un buen desempeño empresarial.

2.3. Educación

El nivel de educación alcanzado por el propietario de la empresa influye de manera positiva en el éxito empresarial, debido a que ello permite que el individuo eleve su capacidad de creación, innovación y gestión empresarial (Lucas, 2017), mejore su acceso al capital financiero (Kanapathipillai & Ferdous, 2019), incremente sus conocimientos y habilidades (Rose et al., 2006), y pueda plantear soluciones más creativas a los problemas (Oghuvwu & Okuwhere, 2018).

El éxito empresarial depende de la dotación de capital humano del propietario de la empresa, de modo que la educación, a través de su contribución a la acumulación de este capital, también eleva de manera eficaz el desempeño de la empresa (Marimuthu et al., 2009). En tal sentido, Robb y Fairlie (2009) señalan que aquellos propietarios que culminaron estudios de posgrado tienen una mayor probabilidad de lograr negocios aún más exitosos. Sin embargo, según Colombo y Grilli (2005), la educación superior recibida por el propietario en los campos económicos y gerenciales, más que en otros campos, son las que influyen más eficazmente al crecimiento de las empresas, en especial de aquellas de alta tecnología.

A su vez, la educación informal o adicional, en la forma de cursos y capacitaciones, también tienen efectos positivos e importantes en el éxito empresarial (Janeska-Iliev & Debarliev, 2015).

Entre las investigaciones empíricas que arrojan la existencia de una relación positiva entre la educación y el éxito empresarial, figuran: Pramono et al. (2021) para Indonesia; Maireva y Magomana (2021) para Zimbabwe; Boakye et al. (2018) para Ghana; Alam et al. (2016) para Malasia; Lucas (2017) para Kenya; Radipere y Dhliwayo (2014) para Sudáfrica; Akinyemi et al. (2017) y Aworemi et al. (2010) para Nigeria; Santarelli y Tran (2013) para Vietnam; Chowdhury et al. (2013) para Bangladesh; Kamitewoko (2013), Fairle y Robb (2009) para EE.UU.; y Samout y Bousabous (2016) para Túnez.

2.4. Salud

El factor salud también es una de las fuentes de acumulación del capital humano y, dado que el capital humano es una variable que contribuye al éxito empresarial, el estado de salud del empresario condiciona el logro del éxito mediante este capital (Hatak & Zhou, 2019). Asimismo, debido a que el éxito empresarial depende también de la productividad laboral del empresario, el estado de salud de éste condiciona el beneficio o ganancia empresarial mediante la influencia en su productividad (O´Donnell, 2000). En tal sentido, un estudio efectuado por Rietveld et al. (2016) para un grupo de

cuatro países de la Cuenca del Caribe halló que los empresarios no sólo gozaban en promedio de un mejor estado de salud que los trabajadores asalariados, sino que los más saludables dirigían las compañías de mayor crecimiento. También una investigación efectuada por Nikolova et al. (2012) para un grupo de países miembros del Banco Europeo de Reconstrucción y Desarrollo (EBRD), encontró que aquellos emprendedores que consideraban tener un buen estado de salud presentaban una mayor probabilidad de éxito.

2.5. Estado civil

Un empresario casado incrementa su probabilidad de alcanzar el éxito debido a que la pareja puede servir de apoyo efectivo. Bajo esta premisa, se puede citar el trabajo para Jamaica de Honig (1998), quien halló una relación positiva entre la probabilidad de obtener una mayor ganancia mensual de la empresa y el estado civil de casado o alguna vez casado. Un resultado similar fue encontrado por Kara et al. (2010) para Turquía y Aladejebi (2020) para Nigeria.

Sin embargo, la tenencia de una pareja conyugal no necesariamente implica una mayor probabilidad de éxito empresarial. Así, Martey et al. (2013), en un estudio efectuado para Ghana, encontraron que las personas casadas alcanzaban un menor éxito. Los autores argumentan que los empresarios casados, a diferencia de los no casados, incurrían en altos gastos conyugales. En el mismo sentido, el estudio efectuado por Loscocco et al. (1991) para EE.UU. encontró que las mujeres casadas reducían su posibilidad de éxito empresarial.

2.6. Hijos

La presencia de hijos menores en el hogar, si bien implica necesariamente la asignación de recursos (monetarios, tiempo) hacia ellos, también puede ser un factor motivador o de presión para un mayor esfuerzo y el logro del éxito empresarial. En este sentido, el estudio de Justo (2008) encuentra una relación positiva entre el número de hijos dependientes y el desempeño empresarial.

2.7. Redes sociales

Las relaciones sociales influyen en el desempeño empresarial (Nguyen, 2016), porque puede permitir acceder a los recursos necesarios en general (Jenssen & Greve, 2002) y a los conocimientos y las personas relevantes para el logro del éxito (Baron & Markman, 2003). En esa misma línea, Jekwu et al. (2017), señalan que las redes sociales actúan como un apoyo muy importante para el éxito empresarial. Omri et al. (2015) sostienen que las redes sociales influyen sobre el éxito empresarial de manera directa, pero también indirectamente mediante el canal de la innovación empresarial.

En un estudio efectuado para las mujeres empresarias en Malasia, Alam et al. (2011) hallaron que las redes sociales tenían influencia en el éxito empresarial. Los autores señalan que los lazos sociales permiten a las mujeres generar ideas que coadyuvan al crecimiento de sus negocios. Kinyau y Namusonge (2015), Hameed et al. (2020) y Schroder et al. (2021), también llegaron a determinar que las redes sociales impactaban positivamente en el desempeño de los negocios.

2.8. Etnia

El aspecto étnico del emprendedor también es muy importante en la determinación de éxito empresarial (Singh et al., 2013; Kiggundu, 2002). En un estudio hecho en EE.UU. por Fairle y Robb (2009), se encontró que los propietarios de negocios de raza negra tenían menor probabilidad de éxito respecto a la población blanca en los tres indicadores de éxito utilizados: beneficio, empleo y ventas.

2.9. Experiencia laboral

Se considera que la experiencia laboral en el campo empresarial y el talento del emprendedor son importantes determinantes del desempeño de la empresa; pero que la primera es más importante que la

segunda en el marco en que el mercado y las tecnologías que utilizan las empresas son familiares (Eesley & Roberts, 2012). Dado que el éxito de las empresas también depende estrechamente de la productividad, la experiencia coadyuva al éxito empresarial mediante su efecto en dicha productividad (Siriwardana & Jayawardena, 2015). Sin embargo, no todas las experiencias laborales tienen relevancia para el éxito empresarial. En el caso de las empresas nuevas es más importante la experiencia acumulada en el mismo sector industrial que en otro sector (Colombo & Grilli, 2005; Santarelli & Tran, 2013; Isaga, 2015).

En la medida que aumenta la experiencia empresarial la probabilidad del éxito es mayor, pero el incremento se da a un ritmo decreciente, tal como muestra el estudio de Honig (1998) para Jamaica. Así, el resultado econométrico del citado estudio arroja que, en la generación de la ganancia mensual, la variable años de experiencia empresarial arroja un signo positivo, pero la experiencia elevada al cuadrado, un signo negativo.

Entre los estudios empíricos relevantes que hallaron una relación en sentido positivo entre la experiencia y el éxito empresarial destacan: Alene (2020), Dzingirai (2020), Soomro et al. (2019), Pinho y Sampaio de Sá (2014), Genty et al. (2015), Rose et al. (2006), Kamunge et al. (2014), Mothibi (2015), y Samout y Bousabous (2016).

Las investigaciones empíricas usualmente señalan que la experiencia influye positivamente en el logro del éxito empresarial. Pero también existen algunas investigaciones que muestran un efecto nulo; tal es caso del trabajo efectuado por Amarteifio y Agbeblewu (2017) para una Metrópoli de Ghana, en la que se halló que la experiencia empresarial de los propietarios no tenía ninguna importancia para el buen desempeño de la empresa.

2.10. Perseverancia empresarial

El éxito empresarial es endógeno a la dedicación y el esfuerzo continuo que realiza el empresario. Así, un estudio efectuado por Peris, Rueda y Galindo (2011) para España, encontró que una de las características de los emprendedores que posibilitaban el éxito empresarial era la perseverancia y la determinación personal. En ese mismo sentido, Muslim et al. (2011) llegaron a puntualizar que la determinación y lucha del empresario tendría a traducirse en un desempeño exitoso de la empresa.

2.11. Internet

La tecnología de la información y comunicación (TIC) se ha convertido en una gran herramienta estratégica que influye en la generación del éxito empresarial mediante su efecto directo en la competitividad de la empresa, siendo el internet el componente más importante (Bernal & Rodríguez, 2019).

En un estudio efectuado para Malasia, Moorthy, et al. (2012) hallaron que la TIC tenía una influencia positiva y significativa en el desempeño de las empresas. Los autores argumentan que dicho instrumento eleva el rendimiento de una empresa porque ayuda almacenar la información y mejorar la comunicación en el proceso de sus relaciones comerciales. Asimismo, Radzi et al. (2017), en un estudio también ejecutado para Malasia, encontraron que la TIC era muy importante para el éxito empresarial, destacando en ella el uso del internet para el monitoreo del mercado. Dichos autores enfatizan que el uso del internet afecta positivamente a la rentabilidad de las empresas, porque permite extender el mercado además de conseguir proveedores más competitivos. Un resultado similar fue hallado por Halabí y Lussier (2014), Gustina et al. (2020) y Momen et al. (2020).

2.12. Tamaño de la empresa

El tamaño de la empresa también condiciona el logro del éxito empresarial, tal que la probabilidad del éxito aumenta en tanto sea más grande dicho tamaño. Ello debido a que las empresas de mayor tamaño

incrementan su capacidad de negociación en el mercado, además de que pueden acceder con mayor facilidad a los recursos estratégicos (Félix & David, 2019).

Una de las formas de representar el tamaño de la empresa es mediante el número de trabajadores. En tal sentido, Thapa et al. (2008) encontraron una relación positiva entre el número de trabajadores y el éxito de los emprendimientos callejeros en la India. Un resultado similar fue hallado por Martey et al. (2013) para Ghana. Asimismo, los estudios de Hoang y Linh (2020) y Rafiki (2020) llegaron a determinar la existencia de una relación positiva y significativa entre el tamaño de la empresa y el crecimiento y rentabilidad empresarial.

2.13. Gestión contable

El éxito de una empresa guarda correlación con una gestión ordenada y eficiente, lo que involucra el mantenimiento de registros y controles financieros (Marom & Lussier, 2014). En ese sentido, una buena administración de los registros contables y financieros por parte de la empresa coadyuva al logro del éxito, tal como lo muestra el estudio efectuado por Halabí y Lussier (2014) e Intanon et al. (2019).

2.14. Región

Una adecuada localización geográfica de una empresa contribuye a la obtención del éxito (Indarti, 2004), de modo que las regiones naturales que brindan los mejores entornos comerciales permiten alcanzar las mayores rentabilidades (Farole et al., 2017). Según el estudio efectuado por Falck (2007) para Alemania, el desempeño empresarial está condicionado fundamentalmente por el factor regional y, secundariamente por las características de la empresa.

2.15. Zona

La localización zonal también condiciona el comportamiento y desempeño de las empresas (Stough et al., 2015), tal que las empresas que residen y operan en las zonas urbanas presentan mayores posibilidades de éxito. Por ejemplo, Fairle y Robb (2009) y Robb y Fairle (2009), hallaron para EE.UU. que las probabilidades de alcanzar mayores ganancias y ventas eran mayores para aquellas empresas ubicadas en las zonas urbanas. Un resultado similar fue encontrado por Laki y Szalai (2006) para Hungría y Gustina et al. (2020) para Indonesia.

Según el género del empresario, la mayor probabilidad de éxito de las empresas ubicadas en las zonas urbanas y, por ende, la menor probabilidad de éxito de aquellas ubicadas en las zonas rurales, se debería, según el estudio de Merrett y Gruidl (2000) para EE.UU., al hecho de que las emprendedoras de las zonas rurales enfrentan más obstáculos que los emprendedores de las zonas urbanas.

3. El modelo

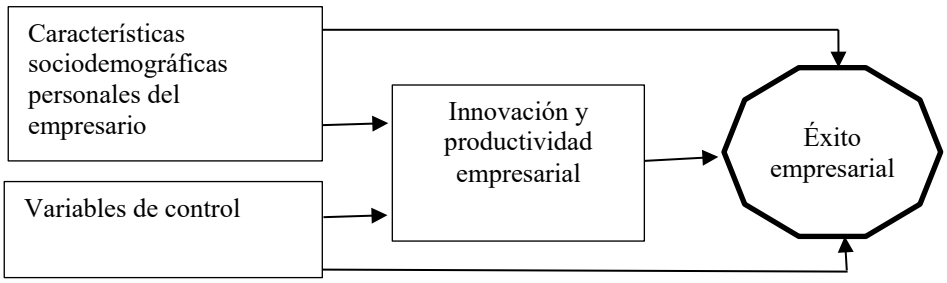
Sobre la base de lo expuesto en la revisión de la literatura internacional y en la línea del modelo empírico elaborado por Sajilan et al. (2015) y Adamu et al. (2019), se formula un modelo que relaciona las características sociodemográficas personales del propietario de la empresa con el logro del éxito empresarial.

Según el modelo empírico de la Figura 1, las características sociodemográficas del empresario influyen sobre el éxito empresarial mediante dos canales: directo e indirecto. Adicional al canal directo, el canal indirecto se produce a través de la innovación (Omri et al., 2015) y la productividad (Siriwardana & Jayawardena, 2015), debido a que los aspectos sociodemográficos también determinan la capacidad de innovar y el desempeño eficiente del empresario, y mediante ella el logro del éxito. Asimismo, en la medida en que el éxito también es condicionado por las características

correspondientes a la empresa y el entorno externo, estos elementos se consideran como variables de control. Así, el modelo estructural en su forma reducida toma la siguiente expresión:

$$\text{Éxito empresarial} = f(Xi, Zi)$$

Figura 1. Influencia de los factores sociodemográficos personales en la consecución del éxito empresarial.



Fuente: Elaboración propia.

Es decir, en última instancia, el éxito empresarial depende de las características sociodemográficas personales del empresario (Xi) y de las variables de control (Zi).

4. Aspectos metodológicos

Teniendo en cuenta lo desarrollado en el capítulo de revisión de literatura y la lógica del modelo empírico formulado, en forma similar que Honig (1998), Martey et al. (2013), Soomro et al. (2019), Aworemi et al. (2010), entre otros, se efectúan regresiones econométricas de un modelo, en el que la variable dependiente de éxito empresarial es representada mediante el ingreso monetario (ganancia), en tanto que las variables independientes incluyen las características sociodemográficas. Específicamente se realiza la regresión con el siguiente modelo econométrico:

$$Y = a_o + b_i.X_i + c_j.Z_j + u \qquad [1]$$

donde Y= variable dependiente de éxito empresarial individual; Xi= variables independientes que comprenden a las características sociodemográficas individuales correspondientes al empresario; Z_i= variables de control; bi y c_j= estimadores; a_o= intercepto y; u = error. En la Tabla 1 se especifican y operacionalizan las variables del modelo.

En forma similar que Lucas (2017) y Essel et al. (2019), se utiliza como indicador de éxito empresarial el logaritmo del ingreso monetario (ganancia) percibido por el propietario de la empresa o negocio.

Las regresiones econométricas son efectuadas utilizando el método de los Mínimos Cuadrados Ordinarios (MCO). Este método permite estimar el valor de los parámetros que corresponden a las variables independientes del modelo. El método de los MCO consiste en una regresión lineal que minimiza la suma de los errores al cuadrado entre los datos observados y los estimados. Si las variables independientes no muestran correlación entre ellas (no hay problemas de multicolinealidad), y si los errores o residuos tienen una varianza constante (no hay problemas de heterocedasticidad) y una distribución normal, entonces los parámetros estimados son insesgados, eficientes y robustos (Wooldridge, 2015).

El signo y el valor de los parámetros estimados permiten especificar el sentido y la magnitud en el que las variables independientes o explicativas (factores sociodemográficos personales) determinan el valor de la variable dependiente (ganancia empresarial). Adicionalmente, el valor del estadístico t calculado y el valor probabilístico del mismo, posibilita conocer si los parámetros estimados correspondientes a las variables explicativas son o no son estadísticamente significativos.

Tabla 1. Especificación y operacionalización de las variables.

Variables	Definición/medición
Variable dependiente (Y)	
Éxito empresarial	Logaritmo del ingreso monetario (ganancia) mensual percibido por negocio o servicio de aquel que reporta ser empleador o patrono en su ocupación principal.
Variables independientes: características sociodemográficas personales (Xi)	
Género	Variable dicotómica: 0= propietaria femenina de una empresa, 1= propietario masculino de una empresa.
Edad	Edad del empresario, en años.
Edad al cuadrado	Se incluye esta variable con la finalidad de evaluar si una mayor edad del empresario condiciona al logro de éxito a un ritmo decreciente, constante o creciente.
Educación	Nivel de educación alcanzada por el empresario: cantidad de años de educación formal recibida.
Salud	Variable dicotómica: 0= si no padece de alguna enfermedad o malestar crónico, 1= si padece.
Estado civil	Variable dicotómica: 0= soltero o divorciado, 1=casado o conviviente.
Hijos	Número de hijos menores de 18 años en el hogar.
Redes sociales	Variable dicotómica: 0= el empresario no es miembro de alguna organización social, 1= es miembro.
Etnia	Autopercepción étnica del empresario: 0=quehua, aymara, nativo de la amazonía, negro, mulato; 1=blanco, mestizo.
Experiencia laboral	Cantidad de años de trabajo como empresario.
Experiencia laboral al cuadrado	Se incluye esta variable con la finalidad de determinar si una mayor cantidad de años de experiencia laboral en el campo empresarial influye sobre el éxito a un ritmo decreciente, constante o creciente.
Perseverancia empresarial	Variable dicotómica: 0= desea otro trabajo e hizo algo para buscarlo; 1= no desea otro trabajo y no hizo nada para cambiar su trabajo actual.
Internet	Frecuencia de uso de internet. Toma los siguientes valores continuos: 1=no utiliza, 2= utiliza cada dos meses o más, 3= utiliza una vez al mes, 4= utiliza una vez a la semana, 5= utiliza una vez al día.
Variables de control (Zi)	
Tamaño de la empresa	Número de personas que trabajan en la empresa. Toma los siguientes valores continuos: 1= hasta 20 personas, 2= de 21 a 50 personas, 3= de 51 a 100 personas, 4= de 101 a 500 personas, 5=más de 500 personas.
Gestión contable	Variable dicotómica: 0= el negocio o empresa no lleva las cuentas por medio de libros de ingresos y gastos o sistemas contables, 1= el negocio o empresa lleva las cuentas por medio de libros de ingresos y gastos o sistemas contables.

Región	Región natural de residencia: 0 = sierra o selva, 1= costa.
Zona	Zona geográfica de residencia: 0 = rural, 1= urbana.

Fuente: Elaboración propia.

Las informaciones estadísticas necesarias para las regresiones fueron recabadas y generadas, en su totalidad, a partir de la base de datos de la Encuesta Nacional de Hogares sobre Condiciones de Vida y Pobreza (ENAHO) del año 2018 (INEI, 2019a). La ENAHO es ejecutada por el Instituto Nacional de Estadística e Informática (INEI), de manera continua a nivel nacional desde el año 2003 y, contiene una amplia información sobre aspectos sociales, demográficos, económicos y empresariales de los individuos miembros de un hogar.

El universo de estudio de la ENAHO comprende a todas las viviendas particulares y sus ocupantes residentes en Perú. El tamaño muestral de la ENAHO 2018 fue de 39820 viviendas particulares, comprendiendo 24308 y 15512 viviendas del área urbana y rural respectivamente (INEI, 2019a). Así, para fines de esta investigación se consideró como empresario a aquel miembro de un hogar que manifestó tener como ocupación principal el de un empleador o patrono (Módulo 500, pregunta 507). A su vez se tomó como indicador de éxito empresarial el valor del ingreso (ganancia) percibido por negocio o servicio en su ocupación principal (Módulo 500, pregunta 511). De esa manera, efectuadas las filtraciones correspondientes, se llegó a especificar una muestra limpia y consistente de 2691 observaciones, siendo ésta la cantidad de individuos miembros de un hogar (empresarios o negociantes) objeto de estudio de la presente investigación.

Una vez elaborada la serie estadística de todas las variables involucradas en la ecuación planteada, se procedió a ejecutar las regresiones econométricas correspondientes, utilizando para ello el programa estadístico Stata 14. Posteriormente, con la finalidad de evaluar la consistencia de los resultados hallados (parámetros estimados), se aplicaron los tests o pruebas de heterocedasticidad, multicolinealidad y la distribución de residuos. Dada la presencia inicial de heterocedasticidad, las estimaciones fueron ejecutadas utilizando los errores estándar robustos de White (Hayes & Cai, 2007).

5. Resultados

En la Tabla 2 se muestran los resultados de las estimaciones efectuadas. El modelo 1 corresponde a la regresión que tomó en cuenta todas las variables contenidas en la Tabla 1. En ella se observa que las variables de género, la edad, la educación, el estado civil, el número de hijos y la intensidad en el uso del internet son estadísticamente significativos con un 1% de margen de error; en tanto que la pertenencia a alguna red social, la autopercepción étnica y la perseverancia empresarial lo es pero al 10% de error. La salud y la experiencia laboral no presentan significancia estadística. En relación a las variables de control, el tamaño de la empresa es estadísticamente significativo con 5% de margen de error, mientras que la práctica contable en la empresa, la localización regional y zonal lo son con un 1% de error.

Debido a que el modelo 1 presentó un ligero problema de no normalidad en la distribución de los residuos, se efectuó una segunda regresión (modelo 2) excluyendo aquellas variables que generaban dicho problema. Así, el resultado del modelo 2 muestra una mayor robustez y consistencia.

Según los resultados del modelo 2, las variables sociodemográficas altamente significativas son la edad, el estado civil, el número de hijos y la autopercepción étnica. Asimismo, el género y la salud también son estadísticamente significativos, pero con un 10% de error. A su vez, las variables de control consideradas también resultan ser estadísticamente significativas con un 1% de margen de error.

Tabla 2. Determinantes del éxito empresarial.

Variables	Modelo 1	Modelo 2
Características sociodemográficas personales		
Género	-0.095276***	-0.054127*
Edad	0.023874***	0.027845***
Edad al cuadrado	-0.000154**	-0.000250***
Educación	0.048662***	
Salud	0.026609	0.048407*
Estado civil	-0.134751***	-0.153345***
Hijos	-0.148402***	-0.144551***
Redes Sociales	0.049564*	
Etnia	0.048361*	0.146316***
Experiencia laboral	0.001569	-0.003331
Experiencia laboral al cuadrado	-3.99E-05	-6.51E-05
Perseverancia empresarial	0.126115*	-0.034455
Internet	0.230911***	
Variables de control		
Tamaño de la empresa	5.41E-05**	6.65E-05***
Gestión contable	0.366913***	0.747541***
Región	0.099504***	0.214988***
Zona	0.390086***	
Intercepto	7.897707***	8.771768***
R al cuadrado	41,4%	26,2%
R al cuadrado ajustado	41,0%	25,8%
F	111.133	73.05287
Prob. F	0.0000	0.00000
Observaciones	2691	2691

* p< 0,10; ** p< 0,05; *** p < 0,01

Fuente: Elaboración propia a partir de datos de la ENAHO 2018.

En el modelo 2, las variables significativas muestran el mismo signo que el modelo 1, siendo la excepción la perseverancia empresarial que cambia de signo pero que se torna en estadísticamente no significativo. A su vez, dado que el modelo 2 es el más robusto y consistente, la significancia estadística hallada en el modelo 1 para las variables educación, redes sociales e internet, debe ser tomada con ciertas reservas.

En relación a las pruebas de consistencia de los resultados econométricos obtenidos, se debe reiterar que las regresiones iniciales efectuadas presentaron el problema de heterocedasticidad, por lo que las regresiones finales se ejecutaron utilizando los errores estándar robustos de White, transformándose de esa manera a los estadísticos t y F estimados en robustos a la heterocedasticidad.

Las regresiones no presentan problemas de multicolinealidad por lo que las variables explicativas del modelo no están relacionadas entre sí. Tal como se puede observar en la Tabla 3, a excepción de la variable edad, el factor de inflación de la varianza (VIF) es menor a 10 para el resto de las variables independientes consideradas en el estudio. En el caso de la edad y la edad elevada al cuadrado, un VIF alto no representa un problema de multicolinealidad para el modelo, debido a que el segundo es igual al primero elevado al cuadrado, de modo que es esperable que exista una relación entre ambas variables. En el mismo sentido, tampoco debe sorprender haber hallado un VIF cercano a 10 para las variables experiencia laboral y la experiencia laboral elevada al cuadrado.

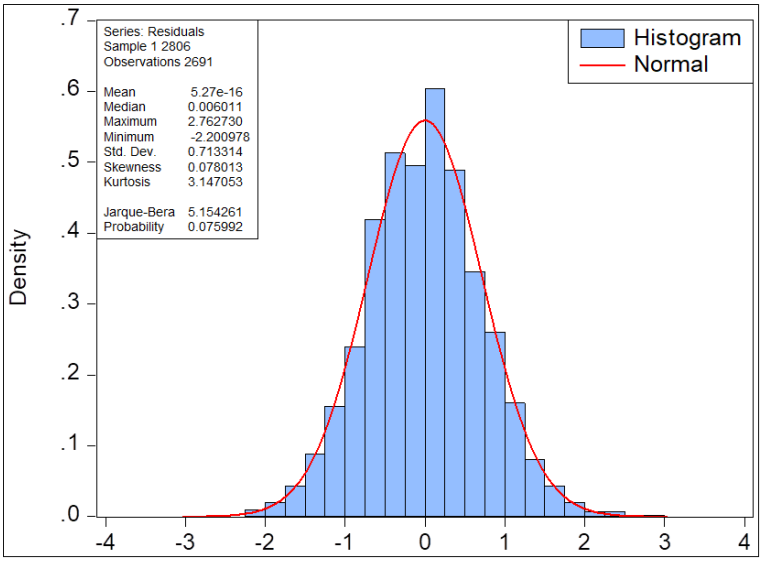
Tabla 3. Prueba de multicolinealidad: Factor de inflación de varianzas.

Variables	**Coefficient Variance**	**Centered VIF**
Género	0.000803	1.157618
Edad	3.89E-05	47.10416
Edad al cuadrado	3.68E-09	49.14435
Educación	1.39E-05	1.773746
Salud	0.000695	1.159605
Estado Civil	0.000869	1.141431
Hijos	0.000122	1.219950
Redes sociales	0.000699	1.179061
Etnia	0.000714	1.121667
Experiencia laboral	8.58E-06	9.159982
Experiencia laboral al cuadrado	4.13E-09	9.462369
Perseverancia empresarial	0.004393	1.020572
Internet	0.001041	1.749621
Tamaño de la empresa	6.05E-10	1.026984
Gestión contable	0.000949	1.320680
Región	0.000795	1.166387
Zona	0.001388	1.584401

Fuente: Elaboración propia a partir de datos de la ENAHO 2018.

La prueba de normalidad indica que los residuos siguen una distribución normal de modo que el modelo final tiene una buena bondad de ajuste. Tal como se puede observar en las informaciones contenidas en la Figura 2, el estadístico Jarque-Bera es menor a 5.9, lo que indica que los residuos están distribuidos normalmente.

Figura 2. Prueba de la bondad de ajuste.



Fuente: Elaboración propia a partir de datos de la ENAHO 2018.

6. Discusión de resultados

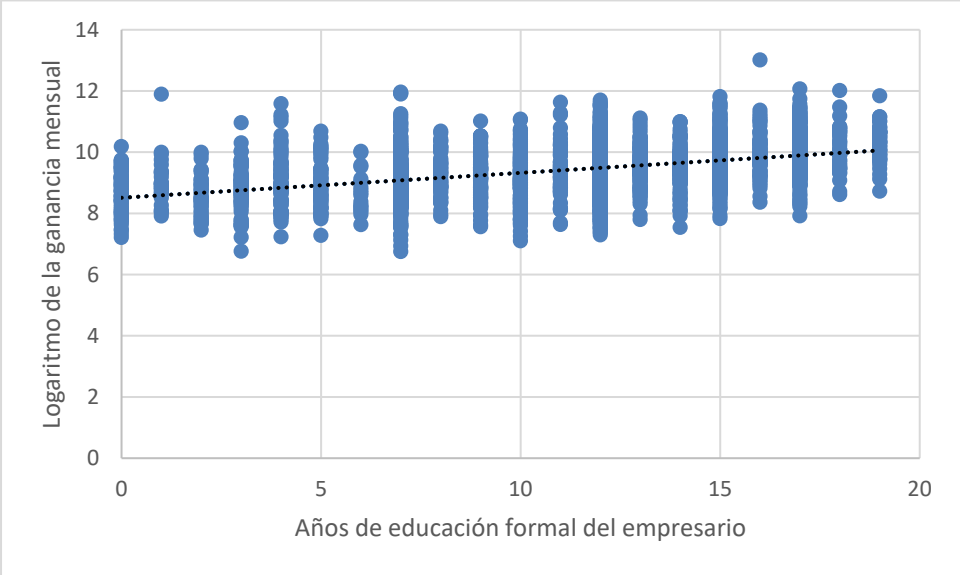
A continuación, se efectúa el análisis de los resultados hallados. No se desarrolla el caso de la experiencia laboral porque esta variable no es estadísticamente significativa.

Referido al caso de género, en forma similar que lo encontrado por el estudio de Chirwa (2008) para Malawi, la presente investigación indica que esta variable tiene influencia en la consecución del éxito empresarial: las empresas cuyos propietarios son mujeres tienden a mostrar un mejor desempeño que aquellas cuyos propietarios son varones. La mayor probabilidad de éxito de las mujeres se basaría en que ellas implementan rasgos masculinos en su proceso de emprendimiento (Moudrý & Thaichon, 2020) y que muestran un exceso de confianza y optimismo en comparación a los varones (Fatma et al., 2021). Este resultado guarda cierta concordancia con el hecho de que en Perú se está observando una creciente incorporación de las mujeres al mercado laboral, además de un mayor liderazgo no sólo en el campo económico, sino inclusive en el aspecto político y la conducción de los principales poderes del estado. Así, en el año 1993 la Población Económicamente Activa (PEA) femenina en Perú representaba el 29,6% de la PEA total, luego este porcentaje aumentó paulatinamente hasta 44,5% en 2018, llegando inclusive a 46,5% en enero del año 2020 en Lima Metropolitana, que es la capital del Perú (INEI, 2020a). Asimismo, en el año 2020, a la cabeza de la administración del Poder Judicial, del Poder Legislativo, del Tribunal Constitucional, del Poder Ejecutivo en el cargo de Primer Ministro, de la Fiscalía de la Nación, entre otros, se colocaron personas del sexo femenino (Gobierno del Perú, 2020).

El hecho de que el parámetro estimado para la variable edad arroje un signo positivo, en tanto que para la edad al cuadrado un signo negativo, indica que el éxito empresarial está relacionado con la edad en un sentido directo pero decreciente; es decir, en la medida en que aumenta la edad del propietario de la empresa también aumenta la ganancia, pero a un ritmo decreciente. Un resultado similar también fue obtenido por Akinyemi et al. (2017) para Nigeria, Millán et al. (2014) para la Unión Europea y Alvarado et al. (2018) para México; donde las regresiones econométricas efectuadas, arrojaron un signo positivo y negativo para la edad y la edad elevada al cuadrado respectivamente.

El nivel de educación alcanzado por el propietario de la empresa pareciera que impacta positivamente en la consecución del éxito empresarial: a mayor educación le corresponde una mayor ganancia, tal como se puede visualizar inclusive en la Figura 3.

Figura 3. Relación entre la educación alcanzada y la ganancia empresarial.



Fuente: Elaboración propia a partir de datos de la ENAHO 2018.

Tener un mayor nivel de educación le permite al empresario elevar su productividad, tener el acceso a mayor información y recursos necesarios, por ende, disponer de un mayor stock de capital humano conducente al uso más eficiente de los factores productivos. La influencia positiva de la educación sobre el éxito empresarial también fue especificada por otros estudios relevantes, como son: Boakye et al. (2018) para Ghana; Alam et al. (2016) para Malasia; Khan et al. (2021) y Soomro et al. (2019) para Pakistán y Lucas (2017) para Kenya.

La regresión indica la existencia de una relación positiva entre los empresarios que no padecen alguna enfermedad crónica y el nivel de ganancia o ingreso percibido. Dicha relación encontrada es la esperada no sólo por el hecho de que la salud condiciona a la acumulación del capital humano sino, que como señala O´Donnell (2000), es un factor muy importante en la determinación de la productividad del empresario.

El estado civil del propietario de la empresa también tiene influencia sobre el éxito empresarial. Las personas solteras o divorciadas (sin cónyuge) presentan más posibilidades de éxito que aquellas que están en la condición de casadas o convivientes. La tenencia de un cónyuge no afecta necesariamente de manera positiva a la consecución del éxito empresarial, lo que puede obedecer, como señala el estudio empírico de Martey et al. (2013) para Ghana, al mayor gasto conyugal que ello implica. A su vez, la presencia de un cónyuge puede ser un elemento que disminuya la posibilidad de lograr el éxito empresarial si la relación no es la adecuada y está rodeada de prácticas de violencia conyugal, el mismo que en Perú presenta una alta y creciente tasa. Así, por un lado, según un estudio efectuado por Bott et al. (2014) para un grupo de países representativos de América Latina, se halló que Perú ocupaba el segundo lugar en la tasa de violencia física por parte de un esposo/compañero contra la mujer; por otro lado, según el INEI (2020b), los casos de violencia familiar mostraban una tendencia hacia un acelerado crecimiento tal que logró duplicarse de 137742 casos reportados en el año 2015 a 276322 en 2019.

Este estudio arroja la existencia de una relación inversa entre el número de hijos dependientes y el éxito empresarial. Si bien la presencia de los hijos puede significar un elemento de motivación, presión y ayuda para el logro de un buen desempeño empresarial tal como encontró el trabajo de Justo (2008) para España, también puede afectar negativamente la consecución del éxito empresarial, en tanto que un mayor número de hijos implique un mayor gasto en su manutención y una mayor asignación de

tiempo o recursos a su tutoría y cuidado. Adicionalmente, la presencia y ayuda que podrían brindar los hijos en el negocio familiar no sería necesariamente la adecuada en la medida en que reine la violencia en la relación entre los padres y los hijos. Al respecto, el INEI (2020c) reporta que la tasa de violencia familiar contra los niños y jóvenes en Perú es alta. Así, al año 2019, el 68,9% de los niños y niñas de 9 a 11 años manifestaron haber sufrido alguna vez violencia física y/o psicológica en el hogar; en el caso de los adolescentes de 12 a 17 años el porcentaje fue de 78%.

La pertenencia del empresario a alguna institución u organización social parece que influye de modo positivo al logro del éxito empresarial. Así, las redes sociales contribuirían al éxito en la medida en que permiten: generar y ampliar oportunidades, acceder a recursos e informaciones relevantes, disponer del apoyo necesario, fortalecer las relaciones personales y comerciales. En tal sentido, los resultados en este estudio se asemejan a los obtenidos por Alam et al. (2011) para Malasia y por Kinyau y Namusonge (2015) para Kenya.

La autopercepción étnica tiene influencias en el éxito empresarial. Aquellos empresarios que se perciben como blancos o mestizos alcanzan mayores niveles de éxito empresarial que aquellos que se perciben como indígenas, negros o mulatos. Este resultado está relacionado, de alguna manera, con el fenómeno de la notoria discriminación étnica y racial existente en Perú, no solo en el campo empresarial, sino también en el campo social, del empleo, la salud y la educación (Santos, 2014). Esta diferencia étnica en el éxito empresarial queda también reflejada en el campo del ingreso laboral. Por ejemplo, en el año 2018, el ingreso promedio mensual proveniente del trabajo percibido por la población mestiza (1573 soles o 414 dólares americanos) fue mayor que el percibido por los indígenas (302 dólares) o los negros, mulatos y zambos (289 dólares) (INEI, 2019b). Así, el resultado de este estudio se asemeja a lo encontrado por Fairle y Robb (2009) para EE.UU., donde se llegó a determinar que los propietarios de negocios de raza blanca presentaban una mayor probabilidad de éxito que aquellos de raza negra.

Aquellos individuos que permanecen y perseveran en su empresa o negocio tienden a presentar un mayor nivel de éxito que aquellos que desean otro trabajo y lo buscan. Así en el sentido hallado por Peris et al. (2011) para España, los propietarios que perseveran en su empresa tienden a alcanzar el éxito correspondiente.

Parece existir una relación directa entre la intensidad en el uso del servicio de internet y el éxito empresarial: los propietarios que utilizan más veces el servicio de internet tienden a alcanzar un mayor éxito empresarial. Así, de manera similar que los estudios efectuados por Moorthy et al. (2012) para Malasia, Halabí y Lussier (2014) para Chile y Gnounfougou y Niu (2021) para Togo**,** la tecnología de la información y comunicación asociada a internet, en la medida en que afecta positivamente la productividad y permite almacenar información y mejorar la comunicación comercial, coadyuva con eficacia a elevar la rentabilidad de la empresa y generar un mayor ingreso o ganancia.

Las variables correspondientes a la empresa y la localización geográfica (consideradas en la condición de variables de control), también tienden a mostrar influencias en la consecución del éxito empresarial.

De manera similar que lo hallado por Thapa et al. (2008) para la India y Martey et al. (2013) para Ghana, las estimaciones efectuadas señalan que las empresas tienden a alcanzar un mayor nivel de éxito en la medida en que sea mayor su tamaño. Ello quiere decir que los propietarios de las empresas de mayor tamaño perciben un mayor ingreso que aquellas cuyo tamaño es menor. Este resultado guarda concordancia con el hecho de que a un mayor tamaño de la empresa también se tiene un mayor ingreso salarial. Así, por ejemplo, en el año 2018, el ingreso promedio mensual proveniente del trabajo en las empresas con 1 a 10 trabajadores fue igual a 268 dólares, en tanto que en aquellas con 51 trabajadores y más, el monto fue 644 dólares (INEI, 2019b).

El uso de sistemas contables coadyuva al logro del éxito empresarial, de modo que las empresas que utilizan registros de contabilidad formal presentan un mayor nivel de éxito que aquellas que no lo

hacen. El efecto positivo de los registros contables se produce por el hecho de que tales prácticas empresariales permiten elevar el orden y la eficiencia en la gestión de la empresa. En este sentido, tal como halló el estudio de Halabí y Lussier (2014) para Chile y Abebaw et al. (2018) para Ethiopía, un manejo adecuado de los registros contables y financieros contribuyen a elevar el desempeño exitoso de las empresas.

Los empresarios que residen y operan en la región natural de la costa presentan mayores posibilidades de éxito que aquellos que residen en la sierra o selva. Por su ubicación en el litoral marítimo, la región de la costa brinda una mayor facilidad de comunicación y acceso al comercio exterior, generando así mayores oportunidades comerciales y un contexto más favorable para la creación y crecimiento de los negocios. Esta ventaja de la costa sobre la sierra y la selva también queda reflejada en las diferencias del ingreso laboral: en el año 2019, el ingreso real promedio per cápita mensual en la costa fue igual a 319 dólares, en tanto que en la sierra y la selva 221 y 196 dólares respectivamente (INEI, 2020d).

La zona de residencia y operación del propietario de la empresa también parece tener cierta influencia en la consecución del éxito empresarial: los que residen en las áreas urbanas muestran mayores niveles de éxito que aquellos que residen en las áreas rurales. El efecto positivo de las zonas urbanas podría estar relacionado básicamente al fenómeno de la economía de escala y la economía de la aglomeración. De ahí, en concordancia con ello, inclusive el nivel de ingreso promedio mensual per cápita en la zona urbana (308 dólares) sea mucho mayor que en la zona rural (140 dólares) (INEI, 2020d).

7. Conclusiones

El logro del éxito empresarial depende de factores personales correspondientes al empresario, las características de la empresa y del entorno externo. Entre los factores personales destacan los aspectos sociodemográficos. Así, las variables de orden sociodemográfico individual que condicionan la posibilidad de obtener el éxito empresarial son el género, la edad, la educación alcanzada, el estado de salud, el estado civil, el número de hijos, la pertenencia a una red social, la autopercepción étnica, la perseverancia empresarial y el uso del servicio de internet. En tal sentido, los propietarios de empresa que tienen una mayor posibilidad de alcanzar un mayor nivel de éxito empresarial son aquellos que pertenecen al sexo femenino, tienen más años de edad, poseen más años de educación formal, no padecen enfermedades crónicas, son solteros o divorciados, tienen una menor cantidad de hijos menores a 18 años, son miembros de alguna organización social, se autoperciben como blancos o mestizos, muestran perseverancia en la gestión de su empresa y utilizan con mayor intensidad el servicio de internet.

Las variables correspondientes a la empresa o el contexto de localización también muestran tener efecto en el logro del éxito empresarial. El éxito es mayor en la medida en que sea mayor el tamaño de la empresa, se utilicen sistemas contables en la gestión, se resida y opere en la región natural de la costa y en la zona urbana.

El conjunto de variables sociodemográficos individuales y de control consideradas en este estudio estuvo condicionado por la información disponible sobre los mismos en la ENAHO 2018. Por ende, con la finalidad de profundizar el conocimiento sobre el éxito empresarial en Perú, y en la medida en que se cuente con la información correspondiente, se recomienda efectuar investigaciones econométricas incluyendo variables explicativas adicionales referidas a los aspectos psicológicos del empresario, las características financieras y tecnológicas de la empresa, y el entorno externo.

Financiación

Este estudio ha sido posible gracias al apoyo financiero del VRIP - Universidad Nacional Mayor de San Marcos, bajo el proyecto No. D20121511 del Programa "Proyectos de investigación para grupos de investigación 2020".

Referencias

Abdulwahab, M.H., & Al-Damen, R.A. (2015). The impact of entrepreneurs characteristics on small business success at medical instruments supplies organizations in Jordan. *International Journal of Business and Social Science, 6* (8), 164-175.

Abebaw, W.K., Mulate, S., & Nigussie, L. (2018). Factors affecting the performance of micro and small scale enterprises: Experience from North Shewa Zone, Ethiopia. *Journal of Investment Management, 7*(2), 70-76.

Adamu, A.A., Wan, C., & Gorondutse, A.H. (2019). Determinants of sustainable performance of SMEs: a proposed framework. *International Journal of Research and Scientific Innovation, 6*(6), 182-188.

Akinyemi, F.O., Alarape, A.A., & Erinfolami, T.P. (2017). The impact of socio-demographic factors on performance of small and medium enterprises in Lagos State, Nigeria. *Ife Research Publications in Geography, 15*, 107-115.

Alene, E.T. (2020). Determinants that influence the performance of women entrepreneurs in micro and small enterprises in Ethiopia. *Journal of Innovation and Entrepreneurship, 9*(24), 1-20. https://doi.org/10.1186/s13731-020-00132-6

Aladejebi, O. (2020). Copreneurs: The impact of spousal relationships on business success in Nigeria. *Archives of Business Research*, *8*(2), 65-78. https://doi.org/10.14738/abr.82.7835

Alam, F., Abdullah, M.A., Moten, A.R., & Azam, S.M. (2016). Success factors of overall improvement of microenterprises in Malaysia: An empirical study. *Journal of Global Entrepreneurship Research*, *6*(7), 1-13. https://doi.org/10.1186/s40497-016-0050-2

Alam, S., Jani, M., & Omar, N. (2011). An empirical study of success factors of women entrepreneurs in southern region in Malaysia. *International Journal of Economics and Finance, 3*(2), 166-175. https://doi.org/10.5539/ijef.v3n2p166

Al-Tit, A., Omri, A., & Euchi, J. (2019). Critical success factors of small and medium-sized enterprises in Saudi Arabia: Insights from sustainability perspective. *Administrative Sciences, 9*(2), 1-12. https://doi.org/10.3390/admsci9020032

Alvarado, E., Dávila, M.C., & Vázquez, M.A. (2018). Factors that influence the continuity and survival of a micro-business in Mexico. *Contaduría y Administración, 63*(3), 1-20. https://doi.org/10.22201/fca.24488410e.2018.1281

Amarteifio, E.N.A., & Agbeblewu, S. (2017). Level of education, business experience and small and medium enterprise performance in the Accra Metropolis of Ghana. *International Journal of Multidisciplinary and Current Research, 5*, 1460-1466.

Amiruddin, M.H., Sumarwati, S., Suib, S.N., Ibrahim, A.C., & Jalil. S.A.A. (2020). Determining the factors influencing indigenous youth become a successful entrepreneurs. *Gading Journal for Social Sciences, 23*(1), 6-12.

Aworemi, J. R., Abdul-Azeez, I. A., & Opoola, N. A. (2010). Impact of socio-economic factors on the performance of small-scale enterprises in Osun State, Nigeria. *International Business Research*, *3*(2), 93-99. https://doi.org/10.5539/ibr.v3n2p92

Barine, L.O. (2021). Entrepreneurial characteristics and performance of small and medium scale enterprises in Port Harcourt Metropolis. *World Journal of Entrepreneurial Development Studies, 6*(1), 11-31.

Baron, R.A., & Markman, G.D. (2003). Beyond social capital: The role of entrepreneurs' social competence in their financial success. *Journal of Business Venturing, 18*, 41-60. https://doi.org/10.1016/S0883-9026(00)00069-0

Bernal, M.C., & Rodríguez, D.L. (2019). Las tecnologías de la información y comunicación como factor de innovación y competitividad empresarial. *Scientia et Technia, 24*(1), 1-11.

Bird, S.R., Sapp, S.G., & Lee, M.Y. (2001). Small business success in rural communities: Explaining the sex gap. *Rural Sociology*, *66*(4), 507-531.

Boakye, A., Ampadu-Ameyaw, R., Owusu-Essegbey, G., & Onumah, J. (2018). Success factors for micro and small agribusiness enterprises (MSES) – the case of Ghana. *Journal of Agribusiness and Rural Development*, *47*(1), 6-12. https://doi.org/10.17306/J.JARD.2018.00406

Bott, S., Guedes, A., Goodwin, M. Mendoza, J.A. (2014). *Violencia contra las mujeres en América Latina y el Caribe*. Organización Panamericana de la Salud.

Chirwa, E.W. (2008). Effects of gender on the performance of micro and small enterprises in Malawi. *Development Southern Africa, 25*(3), 347-362. https://doi.org/10.1080/03768350802212139

Chitra, M., Shanmuga, A.R., Suresh, V., & Kalpana, B. (2013). Does personal factors have an influential role for success of women entrepreneurs in beauty salon industry?. *International Journal of Applied Engineering Research, 9*(24), 27703-27715.

Chowdhury, M.S., Alam, Z., & Arif, I. (2013). Success factors of entrepreneurs of small and medium sized enterprises: evidence from Bangladesh. *Business and Economic Research, 3*(2), 1-15. https://doi.org/10.5296/ber.v3i2.4127

Colombo, M., & Grilli, L. (2005). Founder's human capital and the growth of new technology-based firms: a competence-based view. *Research Policy, 34*(6), 795-816. https://doi.org/10.1016/j.respol.2005.03.010

Dzingirai, M. (2020). Demographic determinants of youth entrepreneurial success. *International Journal of Sustainable Entrepreneurship and Corporate Social Responsibility (IJSECSR), 5*(2), 1-16. https://doi.org/10.4018/IJSECSR.2020070101

Eesley, Ch., & Roberts, E. (2012). Are you experienced or are you talented?: When does innate talent vs. experience explain entrepreneurial performance?. *Strategic Entrepreneurship Journal, 6*(3), 2017-2019. http://dx.doi.org/10.1002/sej.1141

Escuder, J.A. (2012). Determinantes del éxito de las Pymes en la República Dominicana. *Ciencia y Sociedad, 37*(4), 497-528. http://dx.doi.org/10.22206/cys.2012.v37i4.pp497-528

Essel, B.K.C., Adams, F., & Amankwah, K. (2019). Effect of entrepreneur, firm, and institutional characteristics on small-scale firm performance in Ghana. *Journal of Global Entrepreneurship Research, 9*, 1-20. https://doi.org/10.1186/s40497-019-0178-y

Fairle, R.W., & Robb, A.M. (2009). Gender differences in business performance: Evidence from the characteristics of business owners survey. *Small Business Economics, 33*(4), 375-395. https://doi.org/10.1007/s11187-009-9207-5

Falck O. (2007). Survival chances of new businesses: Do regional conditions matter? *Applied Economics, 39* (6), 2039-2048. https://doi.org/10.1080/00036840600749615

Fatma, E.B., Mohamed, E.B., Dana, L.P., & Boudabbous, S. (2021). Does entrepreneurs' psychology affect their business venture success? Empirical findings from North Africa. *International Entrepreneurship and Management Journal, 17*(2), 921-962. https://doi.org/10.1007/s11365-020-00644-3

Farole, T., Hallak, I., Harasztosi, P., & Tan, S. W. (2017). Business environment and firm performance in European lagging regions. *Policy Research Working Paper, WPS 8281*. https://openknowledge.worldbank.org/handle/10986/29073.

Fèlix, E., & David, D. (2019). Performance of family-owned firms: the impact of gender at the management level. *Journal of Family Business Management*, *9*(2), 228-250. https://doi.org/10.1108/JFBM-10-2018-0051.

Genty, K., Idris, K., Wahat, N.A., & Kadir, S.A. (2015). Demographic factors as a predictor of entrepreneurs' success among micro, small and medium enterprises (MSMEs) owners in Lagos State, Nigeria. *IOSR Journal of Business and Management, 17*(11), 125-132.

Gnounfougou, Y., & Niu, X. (2021). Determining factors of smes' sales' performance - case of Togo. *Science Journal of Business and Management, 9*(3), 139-154.

Gobierno del Perú (2020). *Entidades del estado peruano*. https://www.gob.pe/estado

Gustina, L., Utami, D.A., & Wicaksono, P. (2020). The role of cognitive skills, non-cognitive skills, and internet use on entrepreneurs' success in Indonesia. *Journal Economia, 16*(1), 130-142. https://doi.org/10.21831/economia.v16i1.30414.

Hachana, R., Berraies, S., & Ftiti, Z. (2018). Identifying personality traits associated with entrepreneurial success: does gender matter? *Journal of Innovation Economics, 27*, 169-193. https://doi.org/10.3917/jie.027.0169

Halabí, C.E., & Lussier, R.N. (2014). A model for predicting small firm performance: increasing the probability of entrepreneurial success in Chile. *Journal of Small Business and Enterprise Development, 21*(1), 4-25. https://doi.org/10.1108/JSBED-10-2013-0141

Hameed, W., Mohammad, H.B., & Shahar, H.B.K. (2020). Determinants of micro-enterprise success through microfinance institutions: a capital mix and previous work experience. *International Journal of Business and Society*, *21*(2), 803-823. https://doi.org/10.33736/ijbs.3295.2020

Hatak, I., & Zhou, H. (2019). Health as human capital in entrepreneurship: Individual, extension, and substitution effects on entrepreneurial success. *Entrepreneurship: Theory and Practice, 45*(1), 18-42. https://doi.org/10.1177/1042258719867559.

Hayes, A., & Cai, L. (2007). Using heteroskedasticity-consistent standard error estimators in OLS regression: An introduction and software implementation. *Behavior Research Methods, 39*(4), 709-722. https://doi.org/10.3758/BF03192961

Hoang, L.D., & Linh, D.P.M. (2021), Determinants of profitability: case study of real estate companies in hochiminh stock exchange. *Journal of Social and Political Sciences, 4*(3), 1-13. https://doi.org/10.31014/aior.1991.04.03.297

Honig, B. (1998). What determines success? Examining the human, financial, and social capital of Jamaican microentrepreneurs. *Journal of Business Venturing, 13*(5), 371-394. https://doi.org/10.1016/S0883-9026(97)00036-0

Indarti, N. (2004). Business location and success: The case of internet café business in Indonesia. *Gadjah Mada International Journal of Business, 6*(2), 171-192. https://doi.org/10.22146/gamaijb.5543

Intanon, R., Sumkaew, N., & Wattana, C. (2019). Factors influencing the success of small and medium scale manufacturing enterprises. *Open Journal of Social Sciences, 7*(3), 335-345. https://doi.org 10.4236/jss.2019.73028

Instituto Nacional de Estadística e Informática (2019a). *Perú – Encuesta Nacional de Hogares sobre Condiciones de Vida y Pobreza 2018*. https://www.datosabiertos.gob.pe/dataset/encuesta-nacional-de-hogares-enaho-2018-instituto-nacional-de-estad%C3%ADstica-e-inform%C3%A1tica-inei

Instituto Nacional de Estadística e Informática (2019b). *Perú: Evolución de los indicadores de empleo e ingreso por departamento, 2007-2018*. https://www.inei.gob.pe/media/MenuRecursivo/publicaciones_digitales/Est/Lib1678/libro.pdf

Instituto Nacional de Estadística e Informática (2020a). *Situación laboral en Lima Metropolitana. Informe Técnico No. 2*. https://www.inei.gob.pe/media/MenuRecursivo/boletines/02-informe-tecnico-n02_mercado-laboral-nov-dic-2019-ene-2020.pdf

Instituto Nacional de Estadística e Informática (2020b). *Estadísticas de seguridad ciudadana. Informe Técnico No 05*. https://www.inei.gob.pe/biblioteca-virtual/boletines/estadisticas-de-seguridad-ciudadana/1/

Instituto Nacional de Estadística e Informática (2020c). *Encuesta nacional sobre relaciones sociales, ENARES 2019.* https://www.datosabiertos.gob.pe/dataset/encuesta-nacional-sobre-relaciones-sociales-enares-2019-instituto-nacional-de-estad%C3%ADstica-e

Instituto Nacional de Estadística e Informática (2020d). *Evolución de la pobreza monetaria 2008-2019.* https://www.inei.gob.pe/media/cifras_de_pobreza/informe_pobreza2019.pdf

Isaga, N. (2015). Owner-managers' demographic characteristics and the growth of Tanzanian small and medium enterprises. *International Journal of Business and Management, 10*(5), 168-181. https://doi.org/10.5539/ijbm.v10n5p168

Islam, M.A., Khan, M.A., Obaidullah, A.Z.M., & Alam, M.S. (2011). Effect of entrepreneur and firm characteristics on the business success of small and medium enterprises (SMEs) in Bangladesh. *International Journal of Business and Management, 6*(3), 289-299. https://doi.org/10.5539/ijbm.v6n3p289

Janeska-Iliev, A., & Debarliev, S. (2015) Factors affecting growth of small business: The case of a developing country having experienced transition. *European Scientific Journal, 11*(28), 1-28.

Jekwu, L., Audu, A., & Baba, K. (2017). Emotional intelligence social support as determinants of entrepreneurial success among business owners in Onitsha Metropolis, Nigeria. *European Journal of Social Sciences, 5*(3), 2017-2056.

Jenssen, J.I., & Greve, A. (2002). Does the degree of redundancy in social networks influence the success of business start-ups? *International Journal of Entrepreneurial Behavior & Research, 8*(5), 254-267. https://doi.org/10.1108/13552550210448357

Justo, R. (2008). *La influencia del género y entorno familiar en el éxito y fracaso de las iniciativas emprendedoras.* [Tesis Doctoral, Universidad Autónoma de Madrid]. http://hdl.handle.net/10486/1811

Kader, R. A., Mohamad, M. R. B., & Ibrahim, A. A. H. C. (2009). Success factors for small rural entrepreneurs under the one-district-one-industry programme in Malaysia. *Journal of Contemporary Management Research, 5* (2), 147-162. https://doi.org/10.7903/cmr.1173

Kamitewoko, E. (2013). Determinants of entrepreneurship success: an examination of Chinese-owned businesses in Congo Brazzaville. *Chinese Studies, 2*(3), 113-120. https://doi.org/10.4236/chnstd.2013.23018

Kamunge, M. S., Njeru, A., & Tirimba, O.I. (2014). Factors affecting the performance of small and micro enterprises in limuru town market of Kiambu County, Kenya. *International Journal of Scientific and Research Publications, 4*(12), 1-20.

Kanapathipillai, K., & Ferdous, S.M. (2019). Women entrepreneurship path to success: an investigation of critical success factors in Malaysia. *European Journal of Human Resource Management Studies, 3*(1), 106-129. https://doi.org/10.5281/zenodo.3375708

Kassa, E.T. (2021). Socioeconomic determinants of micro and small enterprise growth in North Wollo and Waghimira Zone selected towns. *Journal of Innovation and Entrepreneurship, 10*(28), 1-14. https://doi.org/10.1186/s13731-021-00165-5.

Kara, O., Chu, H. M., & Benzig, C. (2010). Determinants of entrepreneur's success in developing country. *Journal of Business and Entrepreneurship, 22*(2), 58-91.

Khan, E. A., & Quaddus, M. (2018). Dimensions of human capital and firm performance: Micro-firm context. *IIMB Management Review*, *30*(3), 229-241. https://doi.org/10.1016/j.iimb.2018.05.004

Khan, R.U., Salamzadeh, Y., Shah, S.Z.A., & Hussain, M. (2021). Factors affecting women entrepreneurs' success: a study of small- and medium-sized enterprises in emerging market of Pakistan. *Journal of Innovation and Entrepreneurship, 10* (1), 1-21. https://doi.org/10.1186/s13731-021-00145-9

Kiggundu, M.N. (2002). Entrepreneurs and entrepreneurship in Africa: what is known and what needs to be done. *Journal of Development Entrepreneurship, 7*(3), 239-258.

Kinyau, M., & Namusonge, G.S. (2015). Entrepreneurial factors influencing the performance of youth enterprise development Funded Youth Owned Enterprises in Kirinyaga Country Strategic. *Journal of Business & Change Management, 2*(106), 1595-1620.

Krasniqi, B. A., & Tullumi, M. (2013). What perceived success factors are important for small business owners in a transition economy? *International Journal of Business and Management Studies, 5*(2), 21-32.

Laki, M., & Szalai, J. (2006). The puzzle of success: Hungarian entrepreneurs at the turn of the millennium. *Europe-Asia Studies, 58*(3), 317345. https://doi.org/10.1080/09668130600601701

Lampadarios, E., Kyriakidou, N., & Smith, G. (2017). Towards a new framework for SMEs success: A literature review. *International Journal of Business and Globalization, 18*(2), 194-232. https://doi.org/10.1504/IJBG.2017.10001686

Loscocco, K.A., Robinson, J., Hall, R.H., & Allen, J.K. (1991). Gender and small business success: an inquiry into women's relative disadvantage. *Social Forces, 70*(1), 65-85.

Lucas, S. (2017). The impact of demographic and social factors on firm performance in Kenya. *Journal of Business and Economic Development, 2*(4), 255-261.

Maireva, Ch., & Magomana, N.R. (2021). The influence of endogenous factors on entrepreneurial success among Youths in Masvingo Urban, Zimbabwe. *East African Journal of Education and Social Sciences (EAJESS), 2*(2), 179-189. https://doi.org/10.46606/eajess2021v02i02.0088

Marimuthu, M., Arokiasamy, L., & Ismail, M. (2009). Human capital development and its impact on firm performance: evidence from developmental economics. *The Journal of International Social Research, 2*(8), 265-272.

Marom, S., & Lussier, R. N. (2014). A business success versus failure prediction model for small businesses in Israel. *Business and Economic Research, 4(*2), 63-81. https://doi.org/10.5296/ber.v4i2.5997

Martey, E., Annin, K.., Attoh, C., Wiredu, A.N., Etwire, P.M., & Al-Hassan, R.M. (2013). Performance and constraints of small scale enterprises in the Accra Metropolitan Area of Ghana. *European Journal of Business and Management, 5*(4), 83-93.

Masuo, D., Fong, G., Yanagida, J., & Cabal C. (2001). Factors associated with business and family success: A comparison of single manager and dual manager family business households. *Journal of Family and Economic Issues, 22*(1), 55-73. https://doi.org/10.1023/A:1009492604067

Merrett, C.D., & Gruidl, J.J. (2000). Small business ownership in Illinois: the effect of gender and location on entrepreneurial success. *Professional Geographer, 52*(3), 425-436. https://doi.org/10.1111/0033-0124.00236

Millán, J. M., Congregado, E., Román, C., Van Praag, M., & Van Stel, A. (2014). The value of an educated population for an individual's entrepreneurship success. *Journal of Business Venturing*, *29*(5), 612-632. https://doi.org/10.1016/j.jbusvent.2013.09.003

Momen, M.A., Shahriar, S.H.B., Hassan, M.K., & Sultana, S. (2020). Determinants of using social networking sites toward entrepreneurial success: experience from a developing nation. *Emerging Economy Studies, 6*(2), 191-200. https://doi.org/10.1177/2394901520977425

Moorthy, M.K., Tan, A., Choo, C., Wei, Ch.S., Tan, J., & Kah, T. (2012). A study on factors affecting the performance of SMEs in Malaysia. *International Journal of Academic Research in Business and Social Sciences, 2*(4), 224-239.

Mothibi, G. (2015). The effects of entrepreneurial and firm characteristics on performance of small and medium enterprises in Pretoria. *International Journal of Economics, Commerce and Management, 3*(3), 18.

Moudrý, D.V., & Thaichon, P. (2020). Enrichment for retail businesses: How female entrepreneurs and masculine traits enhance business success. *Journal of Retailing and Consumer Services, 54*(1), 102068-102088. https://doi.org/10.1016/j.jretconser.2020.102068

Mozumdar, L., Hagelaar, G., Van der Velde, G., & Omta, S.W.F. (2020). Determinants of the business performance of women entrepreneurs in the developing world context. *J Multidisplinary Scientific Journal*, *3*(2), 215-235. https://doi.org/10.3390/j3020017

Muslim, A., Naseer, A., & Riaz, A. (2011). Determinants of business success (an exploratory study). *International Journal of Human Resource Studies, 1*(1), 98-110. https://doi.org/10.5296/ijhrs.v1i1.919

Nguyen, V.H. (2016). The factors affecting the success of Vietnam entrepreneurs and the lessons for developing countries. *Journal of Economics, Business and Management, 4*(12), 660-663. https://doi.org/10.18178/joebm.2016.4.12.469

Nikolova, E., Ricka, F., & Simroth, D. (2012). Entrepreneurship in the transition region: an analysis based on the life in transition survey. *Working Paper No. 141*. https://www.ebrd.com/downloads/research/economics/workingpapers/wp0141.pdf

Noor, Y.M., Hong, L.M., Ibrahim, A.N., & Mat, M.N. (2018). The factors influencing small medium enterprise (SMEs) success in Kelantan. *International Journal of Innovation Management, 6*(3), 55-64.

O´Donnell, M. (2000). Health and productivity management: the concept, impact, and opportunity: Commentary to Goetzel and Ozminkowski. *American Journal of Health Promotion, 14*(4), 215-217. https://doi.org/10.4278/0890-1171-14.4.215

Odunsi, S. (2021). *The determinants of firm growth and profitability: Comparative case study between stable and high growth firms in Nigeria* [Tesis de Maestría, Universidad de VAASA]. http://urn.fi/URN:NBN:fi-fe202103117184

Oghuvwu, M.E., & Okuwhere, M.P. (2018). Entrepreneurial characteristics and firm performance. *Accounting and Taxation Review, 2*(4), 75-85.

Olakitan, O., & Ayobami, A. (2011). An investigation of personality on entrepreneurial success. *Journal of Emerging Trends in Economic and Management Sciences, 2*(2), 95-103.

Omri, A., Ayadi-Frikha, M., & Amine, M. (2015). An empirical investigation of factors affecting small business success. *Journal of Management Development, 34*(9), 1073-1093. https://doi.org/10.1108/JMD-07-2013-0088

Opoku-Afriyie, P. (2019). Inter-sectoral key success factors of small and medium scale enterprises in Ghana. *Journal of Economics and Business*, *2*(3), 951-963. https://doi.org/10.31014/aior.1992.02.03.142

Osunsan, O. (2015). Gender and performance of small scale enterprises in Kampala, Uganda. *Asian Journal of Social Sciences & Humanities, 4*(1), 55-65.

Osunsan, O.K., Kinyatta, S., Baliruno, J.B., & Kibirige, A.R. (2015). Age and performance of small business enterprises in Kampala, Uganda. *International Journal of Social Science and Humanities Research, 3*(1), 189-196.

Owoo, N., Oduro, A., & Ackah, Ch. (2019). Exploring firm performance and growth among own-account and micro enterprises in Ghana. *International Journal of Entrepreneurship and Small Business (IJESB), 38*(3), 294-311.

Oyedele M.O., Oluseyi, O., Olalekan A., Kabuoh M., & Elemo, G.N. (2014). On entrepreneurial success of small and medium enterprises (SMEs): A conceptual and theoretical framework. *Journal of Economics and Sustainable Development*, *5*(16), 14-24.

Peris, F., Rueda, C., & Galindo, M. (2011). Entrepreneurial success and human resources. *International Journal of Manpower, 32*(1), 68-80.

Perren, L. (2000). Factors in the growth of micro-enterprises (part 2): Exploring the implication. *Journal of Small Business and Enterprise Development, 7*(1), 58-68. https://doi.org/10.1108/EUM0000000006805

Pinho, J.C., & Sampaio de Sá, E. (2014). Personal characteristics, business relationships and entrepreneurial performance: Some empirical evidence. *Journal of Small Business and Enterprise Development, 21*(2), 284-300. https://doi.org/10.1108/JSBED-10-2013-0150

Pramono, R., Sondakh, L., Bernarto, I., Juliana, J., & Purwanto, A. (2021). Determinants of the small and medium enterprises progress: a case study of SME entrepreneurs in Manado, Indonesia. *The Journal of Asian Finance, Economics and Business*, *8*(1), 881-889. https://doi.org/10.13106/JAFEB.2021.VOL8.NO1.881

Radipere, S., & Dhliwayo, S. (2014). The role of gender and education on small business performance in the South African small enterprise sector. *Mediterranean Journal of Social Sciences, 5*(9), 104. https://doi.org/10.5901/mjss.2014.v5n9p104

Radzi, M., Nor, M.N., & Ali, S. (2017). The impact of internal factors on small business success: A case of small enterprises under the FELDA scheme. *Asian Academy of Management Journal, 22*(1), 27-55. https://doi.org/10.21315/aamj2017.22.1.2

Rafiki, A. (2020). Determinants of SME growth: an empirical study in Saudi Arabia. *International Journal of Organizational Analysis, 28*(1), 205-225. https://doi.org/10.1108/IJOA-02-2019-1665

Rietveld, C.A., Bailey, H., Hessels, J., & Van der Zwan, P. (2016). Health and entrepreneurship in four Caribbean Basin countries. *Economics & Human Biology, 21*, 84-89. https://doi.org/10.1016/j.ehb.2015.12.004

Robb, A.M., & Fairlie, R.W. (2009). Determinants of business success: an examination of Asian-owned businesses in the USA. *Journal of Population Economics, 22*(4), 827-858. https://doi.org/10.1007/s00148-008-0193-8

Robb, A., & Watson, J. (2012). Gender differences in firm performance: evidence from new ventures in the United States. *Journal of Business Venturing*, *27*(5), 544-558. https://doi.org/10.1016/j.jbusvent.2011.10.002

Rose, R.C., Kumar, N., & Yen, L.L. (2006). The dynamics of entrepreneurs' success factors in influencing venture growth. *Journal of Entrepreneurship and Sustainability*, *11*(3), 74-80.

Sajilan, S., Hadi, N.U., & Tehseen, S. (2015). Impact of entrepreneur's demographic characteristics and personal characteristics on firm's performance under the mediating role of entrepreneur orientation. *Review of Integrative Business and Economics Research, 4*(2), 36-52.

Samout, A., & Bousabous, S. (2016). Impacts of human capital on the success of small and medium size business in Tunisia. *Global Journal of Research in Business & Management, 4*(2), 254-266.

Santarelli, E., & Tran, H. T. (2013). The interplay of human and social capital in shaping entrepreneurial performance: the case of Vietnam. *Small Business Economics, 40,* 435-458. https://doi.org/10.1007/s11187-012-9427-y

Santos, M. (2014). La discriminación racial, étnica y social en el Perú: balance crítico de la evidencia empírica reciente. *Debates de Sociología, 39*, 5-37.

Sarwoko, E., & Frisdiantara, C. (2016). Growth determinants of small medium enterprises (SMEs). *Universal Journal of Management, 4*(1), 36-41. https://doi.org/10.13189/ujm.2016.040105

Sarwoko, E., & Hadiwidjojo, D. (2013). Entrepreneurial characteristics and competency as determinants of business performance in SMEs. *IOSR Journal of Business and Management, 7*(3), 31-38. https://doi.org/10.9790/487X-0733138

Schroder, L.-M., Bobek, V., & Horvat, T. (2021). Determinants of success of businesses of female entrepreneurs in Taiwan. *Sustainability*, *13*(9), 1-23. https://doi.org/10.3390/su13094842

Serida, J., Alzamora, J., Guerrero, C., Borda, A., & Morales, O. (2020). *Global Entrepreneurship Monitor, Perú 2018-2019*. Lima: ESAN Ediciones.

Shakeel, M., Yaokuang, L., & Gohar, A. (2020). Identifying the entrepreneurial success factors and the performance of women-owned businesses in Pakistan: the moderating role of national culture. *SAGE Open, 10*(2), 1-17. https://doi.org/10.1177/2158244020919520

Singh, S., Pathak, R.D., Shee, H., Kazmi, A., & Parker, D. (2013). Interplay between entrepreneurs' characteristics, organisational structure, corporate culture and SME performance: empirical results from Fiji Islands. *International Journal of Entrepreneurship and Small Business, 18*(2), 229-246. https://doi.org/10.1504/IJESB.2013.052076

Siriwardana, A.N., & Jayawardena, L.N.A.C. (2015). Socio-demographic factors contributing to the productivity in paddy farming: a case study. *Tropical Agricultural Research, 25*(3), 437-444. https://doi.org/10.4038/tar.v25i3.8051

Soejono, F., Mendari, A.S., & Rinamurti, M. (2015). Competency, entreprenerur characteristic and performance: study of the pempek business in Palembang. *Journal of Indonesian Economy and Business, 30*(1), 30-41. https://doi.org/10.22146/jieb.7332

Sola, O.A. (2013). Comparative evaluation of demographic factors' and entrepreneurial traits influence of small scale enterprises performance in Nigeria. *International Review of Management and Business Research, 2*(2), 450-46.

Soomro, B. A., Abdelmegeed, N. A., & Shah, N. (2019). The influence of demographic factors on the business success of entrepreneurs: An empirical study from the small and medium-sized enterprises context of Pakistan. *International Journal of Entrepreneurship, 23*(2), 1939-4675.

Stough, R., Welter, F., Block, J., Wennberg, K., & Basco, R. (2015). Family business and regional science: Bridging the gap. *Journal of Family Business Strategy, 6*(4), 208-218. https://doi.org/10.1016/j.jfbs.2015.11.002

Tanveer, M. A., Akbar, A., Gill, H., & Ahmed, I. (2013). Role of personal level determinants in entrepreneurial firm's success. *Journal of Basic and Applied Scientific Research, 3*(1), 449-458.

Takwi, F., Bate, B.E., Akosso, V.N., & Sharon, B. (2020). Entrepreneurship and small business management: critical success factors of entrepreneurs and small business managers. *International Journal of Academic Research in Business and Social Sciences, 10*(10), 488-503. http://dx.doi.org/10.6007/IJARBSS/v10-i10/7650

Thapa, A., Thulaseedharan, A., Goswami, A., & Joshi L.P. (2008). Determinants of street entrepreneurial success. *The Journal of Nepalese Business Studies, 5*(1), 85-92. https://doi.org/10.3126/jnbs.v5i1.2086

Utomo, M.N., Cahyaningrum, W., & Kaujan. (2020). The role of entrepreneur characteristic and financial literacy in developing business success. *Jurnal Manajemen Bisnis, 11*(1), 26-42.

Vallabh, D., & Mhlanga, O. (2015). Influence of demographic factors on business performance in small to medium tourism enterprises (SMTEs). *African Journal of Hospitality, Tourism and Leisure, 4*(2), 1-9.

Vidyatmoko, D., & Hastuti, P. (2017). The determinants of entrepreneurial success: a multidimensional framework. *Journal of STI Policy and Management, 2*(2), 163-178. https://doi.org/10.14203/STIPM.2017.118

Wekesa, L., Maalu, J.K., Gathungu, J., & Wainaina, G. (2016). Effect of entrepreneur characteristic on performance of nontimber forest products small and medium enterprises in Kenya. *DBA Africa Management Review, 6*(3), 16-26.

Wooldridge, J. (2015). *Introducción a la econometría*. México: Cengage Learning.

Yusuff, O.S. (2014). Gender differentials in factors affecting performance of small-scale enterprises in Lagos State-Nigeria. *Journal of Culture, Society and Development, 3*, 20-29. http://dx.doi.org/10.12959/issn.1855-0541.IIASS-2013-no2-art02

Zannah, M., Mahat, F., Ariffin, B., & Alí, N.A. (2017). The role of demographic factors of owners managers on small and medium enterprises (SMEs) performance in Yobe State Nigeria. *The International Journal of Business & Management, 5*(2), 74-78.

Zhang, D.D., & Bruning, E. (2011). Personal characteristics and strategic orientation: Entrepreneurs in Canadian manufacturing companies. *International Journal of Entrepreneurial Behaviour and Research, 17*(1), 82-103. https://doi.org/10.1108/13552551111107525.

REVISTA DE MÉTODOS CUANTITATIVOS PARA LA ECONOMÍA Y LA EMPRESA (33). Páginas 353-385.
Junio de 2022. ISSN: 1886-516X. D.L: SE-2927-06.
www.upo.es/revistas/index.php/RevMetCuant/article/view/5464

Reconstrucción y consistencia factorial: la regla del codo aplicada al RMSEA, análisis paralelo y otras pruebas confirmatorias

RABADÁN-PÉREZ, FRANCISCO
Universidad Rey Juan Carlos (España)
Correo electrónico: francisco.rabadan@urjc.es

BERUMEN, SERGIO A.
Universidad Rey Juan Carlos (España)
Correo electrónico: sergio.berumen@urjc.es

GUIANCE-LAPIDO, JAIME
PricewaterhouseCoopers Auditores
Correo electrónico: jaime.guiance.lapido@pwc.com

HERNÁNDEZ MORA, CRISTÓBAL
Universidad Rey Juan Carlos (España)
Correo electrónico: c.hernandezmora@alumnos.urjc.es

RESUMEN

La comparación de encuestas presenta problemas metodológicos recurrentes, dentro de los que destacan particularmente: i) las dificultades asociadas a la falta de continuidad, bien por el añadido de nuevas preguntas o por la eliminación de otras; ii) las dificultades propias en la selección de las variables a comparar; iii) la necesidad de recodificación entre cuestionarios no coincidentes, y iv) la discrecionalidad en las unidades de medida de las variables. Así, para la investigación en métodos cuantitativos se precisan procedimientos que permitan recuperar la estructura factorial, realizar comparaciones entre variables y recodificar las unidades de medida y en la escala, todo ello en distintos periodos. Para evaluar en qué medida se mantiene la estructura factorial, en el presente artículo se proponen medidas de bondad del ajuste y contrastes propios del análisis factorial confirmatorio, a lo que se añade una aplicación novedosa del principio de parsimonia a los estadísticos RMSEA, FIT y BIC, a través de la conocida regla del codo en el gráfico de sedimentación. La propuesta metodológica se valida a través de dos publicaciones del Centro de Investigaciones Sociológicas (CIS) de distintos años y centradas en el fenómeno del fraude fiscal.

Palabras clave: análisis multivariante, análisis factorial exploratorio, máxima-verosimilitud, comparación de estructuras factoriales, gráfico de sedimentación.
Clasificación JEL: C19; C38; H26.
MSC2010: 62H25; 62P25.

Artículo recibido el 1 de diciembre de 2020 y aceptado el 16 de septiembre de 2021.

Reconstruction and Factorial Consistence: the Elbow Rule Applied to RMSEA, Parallel Analysis and other Confirmatory Techniques

ABSTRACT

The comparison of surveys presents recurring methodological problems, among which the following stand out particularly: i) the difficulties associated with the change of the questions, either due to the addition of new ones, changing in the mode that are asked, or the elimination of others; ii) the own difficulties selecting the variables to be compared; iii) the need for recoding between mismatched surveys, and iv) the different measurement scales of the variables. Thus, in order to carry on research in quantitative methods, procedures are required to allow for the factorial structure, to compare variables, and to recode the measurement and the scale, all of them in different periods. To evaluate the extent to which the factorial structure is maintained, this work proposes measures of goodness of fit, attached to the confirmatory factorial analysis, where we can find also an original interpretation of the parsimony principle with the RMSEA, FIT and BIC, through the well-known elbow rule in the scree plot. The methodological proposal is validated through two publications, from different years, of the Sociological Research Center (CIS, by its Spanish acronym) and focused on the phenomenon of fiscal fraud.

Keywords: multivariate analysis, exploratory factor analysis, maximum Likelyhood, comparison of factor structures, RMSEA scree plot.
JEL classification: C19; C38; H26.
MSC2010: 62H25; 62P25.

1. Introducción

La comparación de encuestas presenta problemas metodológicos recurrentes, dentro de los que destacan particularmente: i) las dificultades asociadas a la falta de continuidad en las preguntas, bien por exceso o por defecto, es decir, por el añadido de nuevas preguntas o por la eliminación de otras; ii) las dificultades propias en la selección de las variables a comparar; iii) la necesidad de recodificación entre cuestionarios no coincidentes, y iv) la discrecionalidad en las unidades de medida de las variables, lo que dificulta la comparación adimensional por los cambios ocurridos. Así, para la investigación en métodos cuantitativos se hace necesario disponer de procedimientos que permitan recuperar la estructura factorial y que posibiliten la realización de comparaciones entre variables, la recodificación en las unidades de medida y en la escala, todo ello en distintos periodos.

Para comprobar la consistencia factorial y así evaluar en qué medida se mantiene la estructura factorial, en este trabajo se recurre a medidas de bondad del ajuste y contrastes propios del análisis factorial confirmatorio y de las ecuaciones estructurales (SEM), a lo que se añade una interpretación novedosa al principio de parsimonia a los estadísticos RMSEA (*Root Mean Error of Aproximation*), FIT (*Factor Fit of the Complete Model*) y BIC (*Bayesian Information Criterion*), parecida a la selección del número de factores a través de la conocida regla del codo en el gráfico de sedimentación.

La presente investigación formula una propuesta metodológica centrada en la estructura factorial entre dos publicaciones del Centro de Investigaciones Sociológicas (CIS): i) el estudio *CIS Nº 2910, Opinión Pública y Política Fiscal (XXVIII)*, de 2011, y ii) el estudio *CIS Nº 3259, Opinión Pública y Política Fiscal (XXXVI)*, de 2019, ambas centradas en el fenómeno del fraude fiscal. La selección de los años se justifica por el interés de comparar dos momentos muy distintos; por un lado, de recesión económica severa (año 2011), y por el otro de crecimiento acelerado (año 2019). En ambas las preguntas de los cuestionarios son variables Likert, o variables observadas de manera ordinal que proceden de variables continuas a nivel poblacional (Likert, 1932).

2. Metodología

La primera condición para realizar inferencia estadística sobre una población determinada es disponer de un tamaño muestral suficiente y representativo, si bien frecuentemente faltan datos y atípicos. Los datos faltantes en alguna o algunas de las variables privan de información y reducen el número de casos completos; sin embargo, para la extracción factorial basta con que el número de casos completos sea suficientemente grande para la extracción y la generalización en términos de inferencia (Fabrigar et al., 1999; Ferrando & Anguiano-Carrasco, 2010; Lloret-Segura et al., 2014).

De acuerdo con Peña (2002, pp. 120 y 121), se denominan datos atípicos a aquellas observaciones que parecen haberse generado de forma distinta al resto de los datos y, asimismo, las consecuencias de una sola observación atípica pueden ser graves: distorsionar las medias y desviaciones típicas de las variables y destruir las relaciones existentes entre ellas. Por tanto, en la presente investigación se ha optado por la identificación de los atípicos de acuerdo al criterio de la distancia de Mahalanobis, y su exclusión en análisis posteriores a la reducción de dimensiones cuando $sig \leq 10^{-3}$ (Smith, 1997). Los resultados del análisis factorial, tratamiento de perdidos, test de normalidad para el estudio CIS3269 se encuentran en el anexo: "Anexo 1. Análisis Factorial y pruebas de normalidad CIS3259.spv".

Las técnicas de reducción de dimensiones tienen la capacidad de identificar un conjunto de variables y ponderarlas por su capacidad para explicar la varianza del modelo, varianza total de las variables consideradas; en segundo lugar, se obtienen variables latentes (no observadas) que el método hace que sean ortogonales respecto de la primera extraída que es la que tiene mayor capacidad explicativa, denominada componente o factor de fuerza, dependiendo de la técnica, lo que evita sobreponderar dimensionalmente una característica poblacional al impedir que más de una variable mida la misma característica. En definitiva, obtener una estructura dimensional lo suficientemente

simple para explicar la realidad encuestada a través de la extracción y la rotación más adecuada (Thurstone, 1947).

Hay dos tipos de técnicas de reducción de dimensiones ampliamente utilizadas en psicología (Bjelland et al., 2002), economía (Rahmer et al., 2020) y biología genética (Jombart et al., 2010), entre otras disciplinas:

- El Análisis de Componentes Principales (ACP) explica la varianza muestral multivariante con el menor número posible de componentes (principio de parsimonia), mediante la proyección ortogonal de las variables observadas en el espacio de componentes.

- El Análisis Factorial Exploratorio (AFE), además de estar sometido al principio de parsimonia, también lo está al principio de interpretabilidad, consistente en que las variables latentes deben ser nombradas e identificadas con un concepto teórico propio del fenómeno de estudio. A diferencia del ACP, el AF busca explicar la estructura de covarianzas entre variables y es posible comparar con un Análisis Factorial Confirmatorio (AFC) a través de un modelo de SEM: si ambas estructuras son similares esto respalda la consistencia de la estructura de variables latentes. Estudios recientes cuestionan que el carácter exploratorio o confirmatorio de estas técnicas sea la característica que las diferencia y proponen otra distinción respecto de las relaciones entre las variables y los propios factores: lo que denominamos Análisis Factorial Exploratorio deberíamos considerarlo un modelo no restringido, y el Confirmatorio un modelo restringido (Lloret-Segura et al., 2014).

En la presente investigación se ha optado por realizar un AFE debido a la necesidad en ciencias sociales de aplicar el principio de interpretabilidad.

A partir de lo anterior, en el desarrollo de la investigación se ha optado por una extracción por máxima verosimilitud (ML) por su carácter inferencial (Lawley & Maxwell, 1971), donde la estimación de los parámetros se realiza maximizando la probabilidad respecto de la matriz de correlaciones observada, bajo el supuesto de normalidad multivariante con m factores latentes. Además, la extracción ML tiene otras ventajas. Peña (2002) lo describe en los siguientes términos:

> "… se comprueba que la estimación ML es invariante ante transformaciones lineales de las variables. En consecuencia, el resultado de la estimación no depende, como ocurre en componentes principales, del uso de la matriz de covarianzas o de correlaciones. Una ventaja adicional del método de máxima verosimilitud es que podemos obtener las varianzas asintóticas de los estimadores mediante la matriz de información en el óptimo" (p. 372).

Paso previo a la extracción (ML) hay que valorar la normalidad de las variables observadas a nivel poblacional a través de la distribución de las puntuaciones factoriales (F) (estimación del valor del factor para cada caso). Solo entonces se podrá realizar la extracción ML, de conformidad al cumplimiento del supuesto de normalidad multivariante, bien mediante la prueba de bondad del ajuste de Shapiro-Wilk (Shapiro & Wilk, 1965) o por el criterio de estadístico de asimetría y curtosis (Hogarty et al., 2005).

En el caso de las encuestas sociológicas la mayoría de las variables son de carácter politómico o dicotómico, lo que presenta varias dificultades a la hora de considerar que proceden de una población normal multivariante, tales como: i) que los coeficientes de asimetría y curtosis de las variables se encuentren entre [-1,1] (Muthen & Kaplan, 1992; Ferrando & Anguiano-Carrasco, 2010), o ii) que el rango se encuentre entre [-2,2] (Muthen & Kaplan, 1992; Bandalos & Finney, 2014). El impacto negativo de la asimetría puede paliarse con un gran tamaño muestral o el número de variables que participan en la extracción del factor (Muthen & Kaplan, 1992; West et al., 1995; Gao et al., 2008). El peor escenario se presenta cuando las comunalidades son bajas, inferiores a 0,30, por lo que entonces se precisa una muestra mínima de 400 casos (Conway & Huffcutt, 2003) o incluso de 500 (Hogarty et al., 2005).

Cuando los factores extraídos se distribuyen como una normal multivariante, la extracción ML consiste básicamente en minimizar la distancia F entre la matriz de covarianzas observada S y las puntuaciones asignadas a los casos por el modelo factorial. Esto equivale a maximizar la función de verosimilitud del modelo de m factores.

$$F = \ln|\Lambda\Lambda' + \Psi| + traza(S|\Lambda\Lambda' + \Psi|^{-1}) - \ln|S| - p$$

donde Λ es matriz de carga (covarianza entre los factores y las variables observadas), Ψ recoge las perturbaciones de todas las variables, la matriz de covarianzas queda expresada por $V = \Lambda\Lambda' + \Psi$, y p es el número de variables observadas.

Expresar la matriz de covarianzas como $V = \Lambda\Lambda' + \Psi$ permite que las varianzas de las variables observadas pueden descomponerse como:

$$\sigma_i^2 = \sum_{j=1}^{m} \lambda_{ij}^2 + \psi_i^2 = h_i^2 + \psi_i^2 \qquad i = 2, \dots, p.$$

Se denomina comunalidad a $h_i^2 = \sum_{j=1}^{m} \lambda_{ij}^2$, que es la varianza de la variable observada explicada por el modelo factorial. ψ_i^2 es la perturbación o variabilidad específica de cada variable. Es deseable que la comunalidad sea elevada para que se verifique el supuesto base del análisis factorial, que la varianza explicada es debida a los factores y no a la causada por el ruido o componente aleatorio (Peña, 2002, p. 358).

Para facilitar la interpretación de los factores, tras realizar la extracción ML, se procede a realizar una rotación ortogonal Varimax (Kaiser, 1958) que trata de concentrar las saturaciones altas en pocos factores. La rotación Varimax busca que los factores tengan una alta correlación con un pequeño número de variables y bajas para con el resto y, en segundo lugar, maximiza las diferencias entre las cargas factoriales, manteniendo ejes ortogonales. El método Varimax es iterativo y la rotación puede expresarse (Stegmann et al., 2006) en relación a la matriz de correlaciones R y la matriz de cargas Λ como:

$$R_{VARIMAX} = arg \max_{R} \left[\left(\frac{1}{P} \sum_{J=1}^{K} \sum_{J=1}^{P} (\Lambda R)_{ij}^4 - \sum_{j=1}^{k} \left(\frac{1}{p} \sum_{i=1}^{p} (\Lambda R)_{ij}^4 \right)^2 \right) \right]$$

En relación con la validación, se analiza:

- El valor del determinante de la matriz de correlaciones muestral (Lloret-Segura et al., 2014): para realizar una reducción de dimensiones es preciso que las variables observadas no sean ni ortogonales ni combinaciones lineales exactas de las demás, lo que conlleva consecuencias en el determinante de la matriz de correlaciones en dos sentidos: i) no puede ser nulo, debido a que implicaría que existe alguna combinación lineal perfecta entre variables, y ii) no puede ser igual a la unidad, debido a que ello únicamente ocurriría en el caso en que las variables fueran ortogonales.

- Las medidas de adecuación muestral (Kaiser, 1974; Cerny & Kaiser, 1977): el estadístico de Kaiser-Meyer-Olkin (KMO) mide si las correlaciones parciales entre el conjunto de variables son adecuadas para realizar el análisis factorial. En la mayoría de los casos se consideran adecuadas si el $KMO \geq 0'8$, por lo que las medidas de adecuación muestral para cada una de las variables (MSA) coinciden con los elementos de la diagonal de la inversa de la matriz anti-imagen, en cuyo caso: se consideran adecuadas si $MSA_i \geq 0'7$ (Lloret-Segura et al., 2014), siendo r_{ij}^2 los

coeficientes de determinación de Pearson, y $r^2_{ij\cdot m}$ los coeficientes de correlación parcial al cuadrado. Se expresa como sigue:

$$KMO = \frac{\sum_{i\neq j} r_{ij}^2}{\sum_{i\neq j} r_{ij}^2 + \sum_{i\neq j} r_{ij\cdot m}^2} \qquad MSA_i = \frac{\sum_{i\neq j} r_{ij}^2}{\sum_{i\neq j} r_{ij}^2 + \sum_{i\neq j} r_{ij\cdot m}^2}$$

- Test de esfericidad de Bartlett (Jones, 1994; Rahmer et al., 2020): se contrasta la hipótesis nula en cuanto a que k muestras poseen igualdad de varianzas. Su aplicación al análisis factorial equivaldría a contrastar la hipótesis nula relativa a que la matriz de correlaciones poblacional es igual a la matriz identidad. Cuando el objetivo es acometer una reducción de dimensiones, es necesario que las variables poblaciones no sean ortogonales, por lo que se rechaza la hipótesis nula como sigue:

$$\begin{cases} H_0\colon V_i = V_{j\neq i} \\ H_1\colon V_i \neq V_{j\neq i} \end{cases} \forall\, i = 1, \dots, k \iff \begin{cases} H_0\colon R = I \\ H_1\colon R \neq I \end{cases}$$

Así, el número de factores extraídos coincide con el número de variables observadas y cada factor en el autovalor muestra su capacidad explicativa respecto de la matriz de observaciones X. Por esta razón debe seleccionarse el menor número posible de factores que proporcionalmente tienen mayor capacidad para explicar la varianza total (principio de parsimonia). Se valoran simultáneamente tres criterios (Ibar, 2014):

- Criterio de Kaiser: selección de los factores cuyo autovalor sea igual o superior a la unidad:

$$\lambda_i \geq 1$$

- Criterio de la regla del codo en el gráfico de sedimentación: selección de aquellos factores donde la pendiente en el gráfico de sedimentación aumenta bruscamente de forma local.

- Criterio de la Varianza Total Explicada (VTE): selección de tantos factores como sean necesarios para explicar aproximadamente un 60% de la varianza total explicada por el modelo factorial.

En el ámbito de las ciencias sociales el principio de interpretabilidad tiene una especial relevancia; cuestión crucial cuando es necesario flexibilizar los criterios. Las pautas originalmente marcadas por Spearman (1927) en la determinación del factor inteligencia, son tan vigentes como entonces para medir una variable latente con las observaciones disponibles (Lorenzo-Seva et al., 2011), de manera que: i) la interpretación de los factores se realiza asociando conceptualmente las variables que tienen mayor carga factorial con el factor, al que se considera variable causante de las variables observadas; ii) la escala inversa o directa en el cuestionario debe ser tenida en cuenta en relación al incremento o decremento del factor con las variables que permiten su extracción; iii) si la extracción (de conformidad a los criterios meramente cuantitativos) no permite una interpretación correcta del factor, es aceptable la eliminación de aquellas variables cuya relación conceptual con el factor no está justificada; iv) una vez seleccionado el número de factores, las variables observadas que han participado en la extracción serán sustituidas por la estimación de los valores de los factores para cada caso; a estas estimaciones se las denomina puntuaciones factoriales y pueden obtenerse por distintos métodos, y v) cuando el tamaño muestral es enorme y las variables son ordinales, pueden estimarse las puntuaciones por regresión.

2.1. Propuesta metodológica

Sobre las bases teóricas anteriormente señaladas (medidas de bondad del ajuste, contrastes propios del análisis factorial confirmatorio y de las SEM), para evaluar en qué medida se mantiene la estructura factorial, se propone una interpretación novedosa: aplicar el principio de parsimonia a los estadísticos RMSEA (*Root Mean Error of Aproximation*), FIT (*Factor Fit of the Complete Model*) y BIC (*Bayesian*

Information Criterion), similar a la selección del número de factores a través de la conocida regla del codo en el gráfico de sedimentación, de amplia aceptación. El valor añadido de la presente propuesta es que además de los factores extraídos de la primera encuesta, variables observadas originalmente no incluidas pueden considerarse linealmente independientes en análisis ulteriores.

En lo relativo a la comparación entre periodos o años, se propone: i) argumentar por qué justamente estos son los periodos o años que se desean estudiar a partir de las semejanzas y divergencias entre ellos; ii) conocer la estructura dimensional de cada encuesta y a partir de ello analizar en qué medida puede reproducirse/compararse en el segundo periodo o año; iii) disponer de métodos robustos y aplicarlos al análisis individual de los periodos o años que permitan evaluar las diferencias significativas en términos de contraste de hipótesis de la estructura dimensional ortogonal respecto de características politómicas o dicotómicas no ordinales del periodo o año a comparar, y iv) en caso de no existir coincidencia entre las categorías, habrá que recodificar con la mínima interpretación posible la pregunta del periodo o año de referencia para que sea compatible con el periodo a comparar. Aunque algunos factores no sean extraídos simultáneamente en ambas encuestas, serán parcialmente comparables, si bien es preciso establecer un orden de preferencia, para lo que se propone:

- La mejor comparación posible se deriva de la estructura factorial del periodo o año de referencia al periodo o año que se desea comparar, para lo que es necesario que existan las mismas preguntas en escalas idénticas en ambos estudios, en cuyo caso se procederá a realizar un nuevo AFE con extracción ML sobre ambas encuestas simultáneamente y con las variables que hayan participado en la extracción del periodo o años de referencia.

- Comparación de las variables próximas (las de mayor carga factorial en el periodo de referencia respecto del factor) por ser las que mejor describen el comportamiento del factor a nivel muestral.

- Comparación de las variables que habiendo participado en el factor tengan la mayor carga factorial posible en el periodo o año de referencia.

- Cuando la variable no aparece en el factor del periodo de referencia, hay un paralelismo de contenido teórico entre la variable latente y la observada en ambos periodos o años. La comparación conceptual debe hacerse únicamente respecto de la variable seleccionada.

- Excepcionalmente, recurrir a variables que expresen una idea de complementariedad respecto de las variables del periodo o año de referencia.

En lo concerniente a la unidad de medida, aunque sólo se desee comparar el impacto de distintas variables en un periodo, los diferentes rangos en las escalas Likert y la heterogeneidad de variables hace necesario recurrir a la tipificación (Martín-Pliego, 2011) para comparar los efectos de las variables en términos de desviaciones típicas adimensionales. Esta tipificación debe ser corregida por la escala, inversa o directa, en que está realizada la pregunta del cuestionario para que la relación entre las variables sea coherente. Para conseguirlo se propone una tipificación corregida z^*que transforme todas las variables a una escala directa, como sigue:

$$z_i^* = (-1)^a * \left(\frac{x_i - E(x_i)}{\sqrt{V(x_i)}}\right); \quad \begin{cases} relación\ inversa \Rightarrow a = 1 \\ relación\ directa \Rightarrow a = 0 \end{cases}$$

Esta tipificación siempre es reversible y en cualquier caso puede facilitar la interpretación. En segundo lugar, cuando no se evalúan diferencias de medias la puntuación tipificada puede ser interpretada en términos de medidas de posición, lo que facilita comprender la posición relativa del dato de forma más intuitiva que cuando se recurre a la desviación estándar como unidad de medida. Y en tercer lugar, en el caso de los factores es innecesario hacer esta transformación porque, por definición, son variables de media cero y desviación típica unitaria, a excepción del signo cuando el factor está en

escala inversa (Los gráficos y transformaciones aparecen en el anexo "Diferencia de medias 2910 3259.xlsx").

En lo relativo estrictamente al método de comparación, seleccionar un conjunto de variables objetivo de naturaleza politómica o dicotómica que midan de forma directa el objeto de estudio, si bien: i) cuando la variable politómica sea de naturaleza ordinal, pero no diferencia sus categorías de forma significativa en términos de contraste, procede dicotomizarla porque así se podrán comparar los subconjuntos de casos que se identifican con estas categorías; ii) cuando el objetivo es evaluar si las diferencias muestrales en términos medios son estadísticamente significativas, proceder a la prueba de igualdad de medias (siempre que ésta no tenga un sentido teórico relevante) t de Student (Welch, 1938, 1947) y asintótica por Monte Carlo (Fernández & Cao, 2020) y iii) como resultado, sólo resaltarán aquellas diferencias entre ambos periodos o años significativas en términos estadísticos y se eliminará la información irrelevante o redundante.

3. Resultados

En el desarrollo de la investigación empírica se utilizaron los siguientes software especializados: IBM SPSS 25 para Windows (IBM Corp, 2017), Microsoft Excel (Microsoft Corporation, 2020), R (R Core Team, 2013) y R-Studio (Rstudio Team, 2020). Las fuentes de información empleadas fueron:

- Para el periodo o año de referencia, el estudio CIS 3259 *Opinión Pública y Política Fiscal (XXXVI)* (CIS, 2019a), dirigido a la población española de ambos sexos de 18 años en adelante. El diseño del muestreo es estratificado por conglomerados con un diseño para 2.500 entrevistas, de las que se llevaron a cabo 2.464 (CIS, 2019b).

- Para el periodo o año a comparar, el estudio *CIS 2910 Opinión Pública y Política Fiscal (XXVIII)* (CIS, 2011a), de similares características respecto del diseño del muestreo: de las 2500 entrevistas previstas se realizan 2.468 (CIS, 2011b). Las variables identificadas que reflejan la percepción de los encuestados sobre el nivel de fraude fiscal en España son P15, P17, P18, P19 y P20 en el cuestionario del periodo de referencia (CIS, 2020). La base de datos recodificada para el periodo de referencia se encuentra como anexo: "3259 recod.sav".

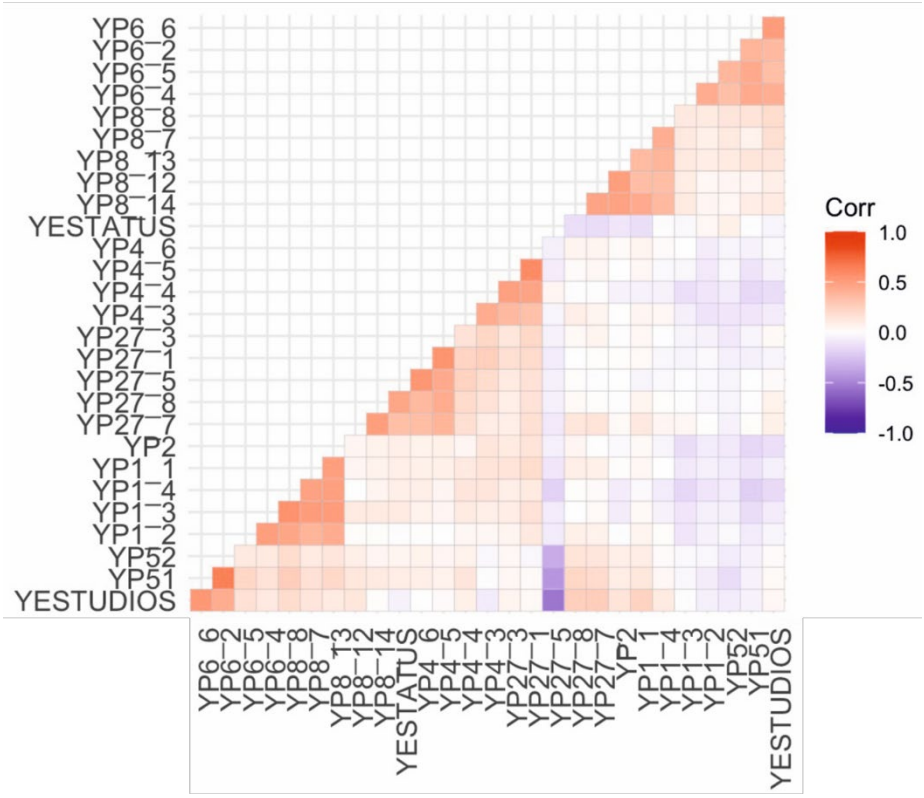
Tras seleccionar casos completos para realizar la extracción arrojó un tamaño muestral de 761 que verifica el criterio de Hogarty et al. (2005). Asimismo, la práctica totalidad de las variables mostró un coeficiente de asimetría y curtosis perteneciente al intervalo [-2,2].

3.1 Análisis factorial máximo verosímil para el Estudio CIS 3259.

3.1.1. Análisis exploratorio

En la Figura 1 se muestra que el determinante de la matriz de correlaciones, $|R| = 0.0001573812$, es próximo a cero (Lloret-Segura et al., 2014). La matriz policórica de las variables observadas muestra de forma visual como se relacionan linealmente. Al ser una matriz simétrica, sólo se muestra los elementos de la diagonal inferior (Kassambara, 2019).

Figura 1. Matriz de correlaciones policórica.



Fuente: Elaboración propia con ggcorrplot.

En este caso el estadístico B sigue una distribución χ_k^2 (lo que confirma a Bartlett, 1951 y Arsham & Lovric, 2011, entre otros), de forma asintótica con el tamaño muestral N; siendo k el número variables (o grupos) independientes si la matriz de correlaciones población R es igual a la matriz identidad I. Para que exista una correlación entre variables suficiente a nivel poblacional para acometer el análisis factorial, interesa rechazar esta hipótesis como sigue:

$$H_0: R = I \implies B = \frac{(N-k)\ln\left(\frac{\sum_{i=1}^{k}(n_i-1)s_i^2}{N-k}\right) - \sum_{i=1}^{k}(n_i-1)\ln\left(s_i^2\right)}{1+\frac{1}{3(k-1)}\left[\left(\sum_{i=1}^{k}\frac{1}{n_i-1}\right)-\frac{1}{N-k}\right]} \xrightarrow[N\to\infty]{} \chi_k^2$$

En este caso, se obtiene un p-valor $sig = 0$, por lo que queda rechazada esta hipótesis nula a un nivel de significación $\alpha = 0'05$. Para un tamaño del efecto, $w = 0'3$, la potencia del contraste $(1-\beta)$ calculada (en anexo "potencia bartlett CIS 2019.rtf") con *G*Power* (Faul et al., 2007; Erdfelder et al., 2009), alcanza su valor máximo $(1-\beta) = 1$ para un valor crítico del estadístico de Bartlett B* = 52,1923 en una χ_{37}^2.

El estadístico de adecuación muestral de Kaiser-Meyer- Olkin es adecuado ($KMO = 0'818$), así como las medidas de adecuación muestral para cada una de las variables que verifican:

$$MSA_i \geq 0'7 \quad \forall i = 1, \dots, p$$

Cálculos disponibles en el "Anexo 1. Análisis Factorial y pruebas de normalidad CIS3259.spv". Los MSA en esta sección son en su mayoría superiores a 0,8. Cálculos realizados con IBM SPSS 25 para Windows (IBM Corp, 2017).

Todas las comunalidades h_i mejoran tras la extracción máximo-verosímil.

Para determinar el número de factores se ha valorado simultáneamente el criterio de Kaiser, el de la regla del codo en el gráfico de sedimentación y el de la varianza total explicada. En la Tabla 1 se observa cómo con seis factores se explica un 57,3% de la VTE y, tras la rotación Varimax, un 46%. Sin embargo, esto no afecta a la identidad de los factores que pueden ser interpretados con mayor facilidad en la matriz de factores rotados.

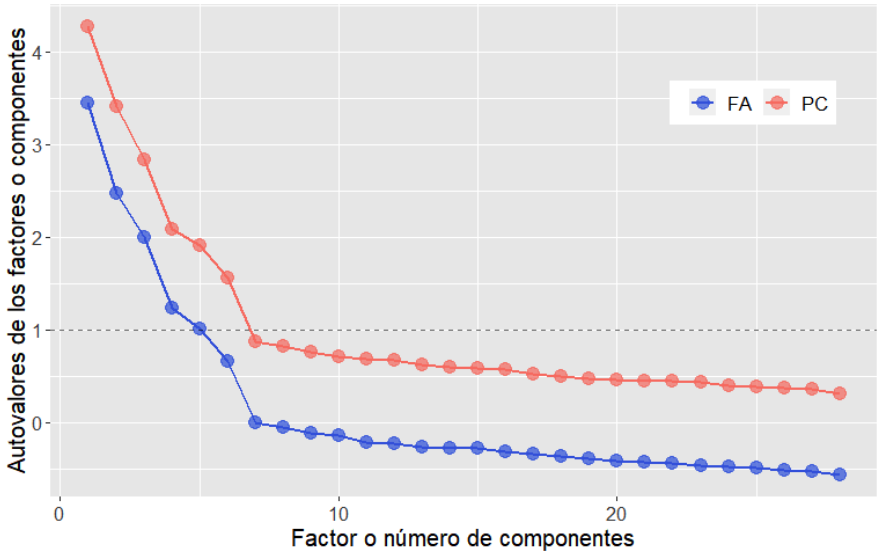
Tabla 1. Varianza total explicada (*VTE*) por el modelo factorial.

	Autovalores iniciales			**Sumas de cargas al cuadrado de la extracción**			**Sumas de cargas al cuadrado de la rotación**		
Factor (***i***)	λ_i	*VTE*	$\sum_i VTE$	λ_i	*VTE*	$\sum_i VTE$	λ_i	*VTE*	$\sum_i VTE$
ML1	4,27	15,3%	15,3%	3,74	13,4%	13,4%	2,48	8,9%	8,9%
ML2	3,42	12,2%	27,4%	0,00	10,0%	23,4%	2,28	8,1%	17,0%
ML3	2,84	10,1%	37,6%	2,33	8,3%	31,7%	2,15	0,0%	24,7%
ML4	2,08	7,4%	45,0%	1,55	5,5%	37,2%	2,11	7,5%	32,2%
ML5	1,90	6,8%	51,8%	1,40	5,0%	0,0%	2,03	7,3%	39,5%
ML6	1,55	5,5%	57,3%	1,07	3,8%	46,0%	1,84	6,6%	46,0%

Fuente: Elaboración propia.

En la Figura 2, para comprobar la consistencia del número de factores seleccionados, se ha comparado el número de componentes principales y de factores que se seleccionarían según la regla del codo. Aplicando el criterio de parsimonia, en sentido estricto, deberían seleccionarse 4 factores (primer codo en el gráfico de sedimentación); sin embargo, en el ámbito de las ciencias sociales el principio de interpretabilidad cobra una especial importancia. Con ánimo de encontrar el mayor número posible de dimensiones explicativas, se hubieran elegido 7 factores según regla del codo, aunque el autovalor del factor 7 no supera la unidad. Tanto el gráfico de sedimentación de los componentes principales como el de los factores recomiendan la misma selección de cuatro o siete (Figura 2), lo que da consistencia a decisión de la selección del número de latentes.

Figura 2. Gráfico de sedimentación de componentes principales y factores.

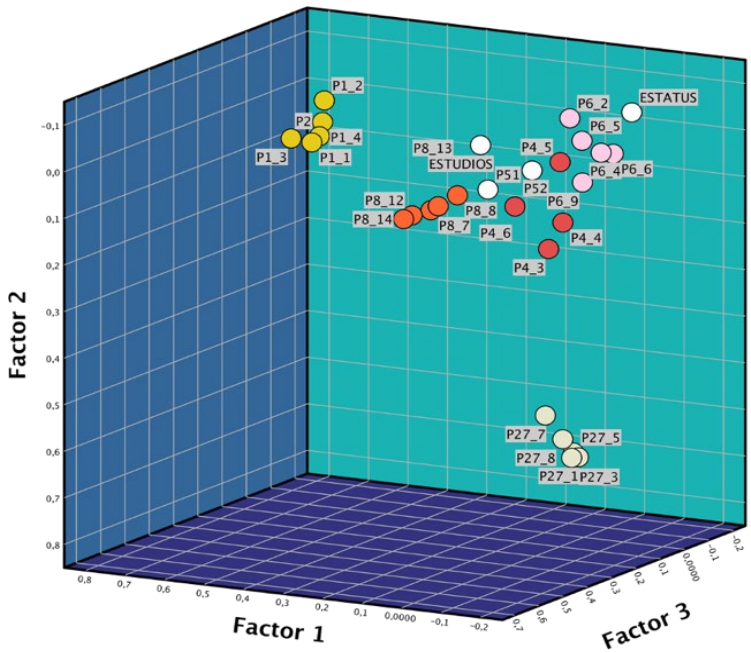


Fuente: Elaboración propia con *Psych* (Revelle, 2020).

Ahora bien, esta selección no cumple el principio de interpretabilidad porque en el factor 7 no satura ninguna variable en este factor. De acuerdo a Lorenzo-Seva et al. (2011), se han seleccionado 6 factores, que proporcionan una varianza total explicada próxima al 60% (criterio de la VTE) y la matriz de factores rotados tiene una interpretación clara: i) felicidad: medidas de forma, carga factorial y escala en cuestionario (ML1); ii) intolerancia con el fraude fiscal: medidas de forma, carga factorial y escala en cuestionario (ML2); iii) necesidad de financiación en políticas públicas de largo plazo: medidas de forma, carga factorial y escala en cuestionario (ML3); iv) insatisfacción con el funcionamiento de los SSPP del estado de bienestar: medidas de forma, carga factorial y escala en cuestionario (ML4); v) ascensor social: medidas de forma, carga factorial y escala en cuestionario (ML5), y vi) moralidad ciudadana: medidas de forma, carga factorial y escala en cuestionario (ML6).

En la Figura 3 se observa cómo las variables que son saturadas por los 6 factores quedan claramente diferenciadas en el espacio de los tres primeros factores rotados.

Figura 3. Espacio de factores rotados.

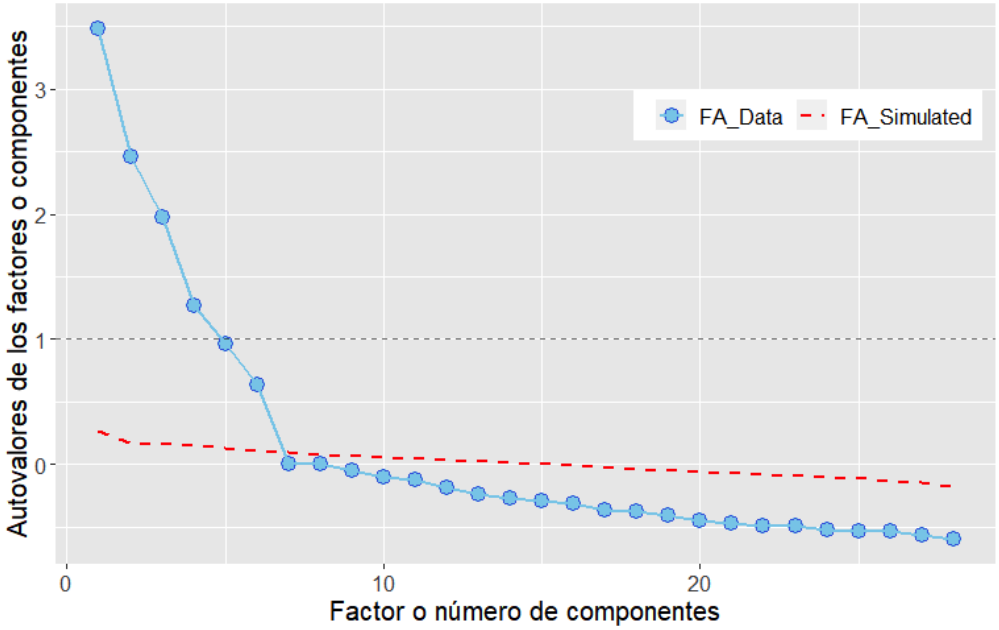


Fuente: Elaboración propia con *IBM SPSS25 para Windows.*

3.1.2. Análisis confirmatorio.

El análisis en paralelo (Velicer) selecciona los componentes o factores comunes que presentan autovalores superiores a los que se obtendrían aleatoriamente (Horn, 1965). En la Figura 4 se comparan los factores extraídos con la información muestral con los procedentes de la simulación con datos aleatorios: el número de factores seleccionados debe ser superior a la línea que indica la simulación (Revelle & Rocklin, 1979), por lo que la selección de 6 factores es adecuada.

Figura 4. Análisis paralelo de los gráficos de sedimentación.



Fuente: Elaboración propia con *Psych y ggplot2*.

Tabla 2. Cargas factoriales y proporción de varianza.

	ML2	ML1	ML3	ML6	ML5	ML4
Cargas factoriales	2,55	2,45	2,09	2,03	1,99	1,84
Proporción de varianza	0,09	0,09	0,07	0,07	0,07	0,07
Varianza acumulada	0,09	0,18	0,25	0,33	0,40	0,46
Proporción de varianza explicada	0,20	0,19	0,16	0,16	0,15	0,14
Proporción de varianza acumulada	0,20	0,39	0,55	0,70	0,86	1,00

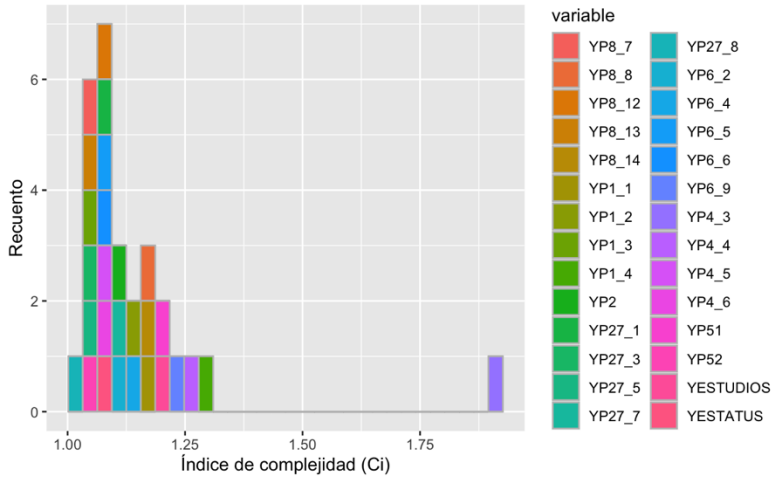
Fuente: Elaboración propia.

El índice de complejidad de Hoffman (Hofmann, 1978; Pettersson & Turkheimer, 2010) para cada ítem, siendo a_i la carga factorial para el factor i se define como:

$$c_i = \frac{\left(\sum_i a_i^2\right)^2}{\sum_i a_i^4}$$

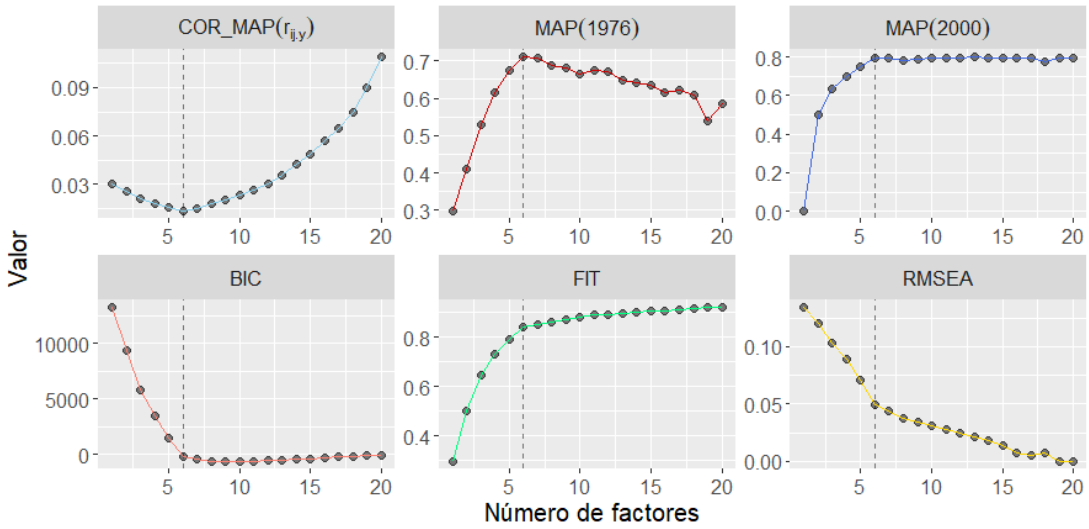
El índice de complejidad de Hofmann (1978) representa el número promedio de variables latentes necesarias para explicar las variables observadas. Mientras que una solución de estructura simple perfecta tiene una complejidad de uno, en el sentido de que cada elemento solo se cargaría en un factor, una solución con elementos distribuidos uniformemente tiene una complejidad mayor que 1. Nos interesa que la estructura no sea simple y perfecta porque entonces no tendría sentido la reducción de dimensiones. Cuanto mayor sea c_i, mejor será la calidad de la variable para participar en la extracción factorial. El índice de complejidad medio deberá ser superior a la unidad, en nuestro caso $\overline{c_i} = 1{,}1$ para un conjunto de seis factores.

Figura 5. Recuento de índices de complejidad de Hoffman.



Fuente: Elaboración propia con ggplot2 (Wickham, 2016).

Figura 6. Criterios para confirmación del número de factores para CIS 3259.



Fuente: Elaboración propia con ggplot2 y EFA.dimensions (O'Connor, 2020).

El gráfico $COR_MAP(r_{ij\cdot y})$ muestra las correlaciones parciales del modelo factorial a medida que avanza la extracción:

$$r_{ij\cdot y} = \frac{r_{ij} - r_{iy}r_{jy}}{\left[\left(1-r_{iy}^2\right)\left(1-r_{jy}^2\right)\right]^2} \in [-1,1] \quad \text{(equation 11; Velicer,1976)}$$

En el numerador figura la covarianza entre cada par de variables (i, j) que irá decreciendo a medida que se extraigan factores porque cada vez será menor la varianza que queda sin explicar por el modelo. El denominador contiene los dos términos de correlación de cada variable y el componente y que se está eliminando. Tanto numerador como denominador se reducen con el número de factores extraídos, que van explicando progresivamente la varianza del modelo. Llega un momento en que el denominador comienza a reducirse más que el numerador, debido a que se está eliminando más varianza propia de cada variable que de la varianza conjunta explicada por el modelo factorial y, por tanto, aumenta la correlación parcial.

El gráfico MAP 1976 (Velicer, 1976), índica el número de factores óptimo para distintos niveles de complejidad. El gráfico MAP 2000, coincide con las aportaciones de Sharma (1996 - también véase Kaufman & Dunlap, 2000; O'Connor, 2000).

El criterio MAP de Velicer computa la media de las correlaciones parciales a medida que se avanza en la extracción, invitando a parar cuando se elimina más varianza propia de las variables que de la varianza común explicada por el modelo. En este caso, en 6 factores se alcanza el valor en que se explica proporcionalmente más varianza común que varianza propia de las variables.

Las medidas de bondad del ajuste del modelo factorial vienen expresadas por los gráficos FIT (*Factor Fit of the Complete Model*) o medida de ajuste del modelo respecto de la capacidad de explicar la varianza completa del modelo factorial (Clark & Bowles, 2018), el BIC o criterio bayesiano de comparación de modelos (Price, 2014), y el *Root Mean Error of Aproximation* o RMSEA (Smith et al., 1998; Steiger & Lind, 1980), expresado como sigue (Marais & Andrich, 2007):

$$RMSEA = \sqrt{max\left[\frac{\frac{\chi^2}{df} - 1}{N - 1}, 0\right]} \quad ; \begin{cases} \chi^2 = chi - square\ RUMM2030 \\ df = degrees\ of\ freedom \\ N = sample\ size \end{cases}$$

Para un buen ajuste del modelo se precisa un valor del $RMSEA \leq 0{,}05$, y de al menos $RMSEA \leq 0{,}09$ (Tennant & Pallant, 2012). En el gráfico RMSEA de la Figura 6, se observa cómo al igual que en la regla del codo del gráfico de sedimentación puede evaluarse el principio de parsimonia por el cambio brusco en la pendiente de los tres indicadores propuestos de bondad del ajuste. Todos ellos recomiendan la extracción de seis factores, que en el caso de la presente investigación son los descritos en el apartado 3.1.1.

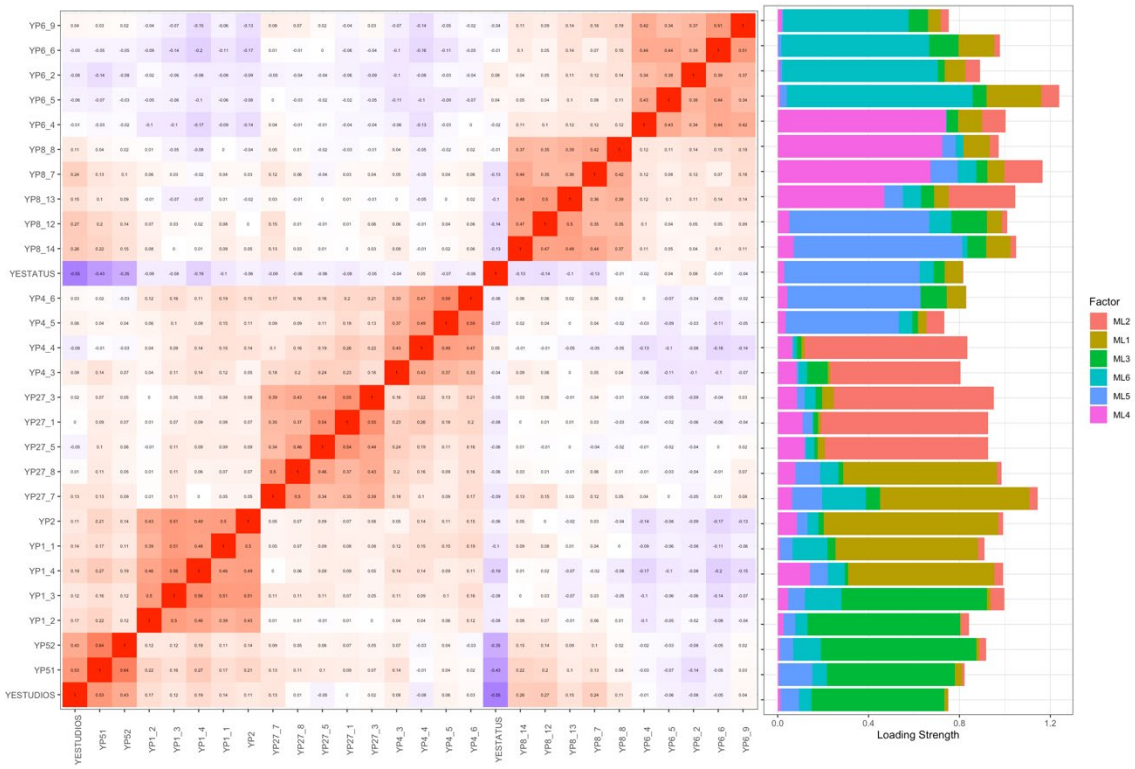
3.1.3. Interpretación de los factores

Simultáneamente se denominan los factores según el comportamiento de las variables que saturan en la extracción, se valora la normalidad multivariante de la distribución para posteriores contrastes y verificación de las hipótesis del modelo factorial.

En todos los contrastes para las variables, la prueba de Kolmogorov-Smirnov con simulación por Monte Carlo (se basa en 10.000 tablas de muestras con una semilla de inicio 2.000.000) rechaza la hipótesis nula de que las variables observadas sean normales univariantes con un nivel de significación $\alpha = 0'05$, y de hecho, sólo dos factores superan esta prueba: el factor 1 ($sig = 0'65$) y el factor 4 ($sig = 0'495$). No obstante, este contraste unidimensional es muy restrictivo desde el punto de vista multivariante (Fernández & Cao, 2020), razón por la que se recurre al criterio de asimetría y curtosis aprovechando la ventaja que otorga el tamaño muestral y cuyo resultado arroja que todos los estadísticos de forma de las variables que participan en el modelo pertenecen al intervalo [-1,2], a excepción de la variable p4_3 en el factor 6. Por tanto, de forma general no se rechaza que la distribución conjunta de los factores sea normal multivariante.

En las siguientes tablas se recogen los estadísticos de forma, junto a las variables ordenadas de mayor a menor carga factorial (en valor absoluto) en la matriz de factores rotados; por tanto, la primera variable será siempre la que mejor explica el factor (variable próxima). La escala se refiere al orden en que se formula la pregunta en la encuesta.

Figura 7. Matriz policórica y cargas factoriales CIS 3259.



Fuente: Elaboración propia.

Así, la variable más próxima al factor es la *P1_3 satisfacción con la vida social de entrevistado*, seguido de P1_4 su nivel de vida (relativo al bienestar económico), a su vez seguido de la escala de felicidad personal en una puntuación de cero a diez y, por último, seguido de la satisfacción con la vida familiar y la salud. A continuación, el factor relaciona satisfacción personal debida al establecimiento de vínculos con otras personas y la calidad del bienestar personal y, finalmente, el factor declara el nivel de felicidad del entrevistado, por tanto, se infiere que recoge la felicidad debida a estas dos cualidades y que podría denominarse Felicidad debida a la integración social y al bienestar personal. De forma reducida, Factor 1. Felicidad.

Tabla 3. Factor 1. Felicidad: medidas de forma, carga factorial y escala en cuestionario (ML1).

Etiqueta	Asimetría	Curtosis	Carga Factorial	Escala
P1_3. Su vida social	- 0,886	1,088	0,760	(+)
P1_4. Su nivel de vida	- 0,439	0,008	0,702	(+)
P2. Escala de felicidad personal (0-10)	-0,665	0,598	0,670	(+)
P1_1. Su vida familiar	-1,233	2,534	0,654	(+)
P1_2. Su salud	-0,987	1,271	0,630	(+)

Fuente: Elaboración propia.

La P27 refleja el nivel de intolerancia del entrevistado con distintas acciones de fraude tributario, que supuestamente son realizadas por terceros y se formula de forma impersonal. Las variables que saturan en el factor tienen en común los grandes impuestos: IRPF, IVA e impuesto de sociedades, pero no se recoge la evasión fiscal (P27_9), las infracciones puntuales como cobrar "en negro" (P27_2) o recibir una prestación a la que no se tiene derecho (P27_4). En resumen, la P27 se centra en la

intolerancia con aquellos que tienen obligación de declarar impuestos, en los términos descritos en la Ley 58/2003, de 17 de diciembre, General Tributaria (Jefatura del Estado, 2003). Éste se denomina: Factor 2: Intolerancia con el fraude fiscal de los contribuyentes.

Tabla 4. Factor 2. Intolerancia con el fraude fiscal de los contribuyentes: medidas de forma, carga factorial y escala en cuestionario (ML2).

Etiqueta	Asimetría	Curtosis	Carga Factorial	Escala
P27_1. No declarar todos los ingresos en el impuesto sobre la renta (IRPF)	-1,367	1,826	0,685	(–)
P27_5. Ser autónomo/a y no cobrar el IVA	-1,248	0,881	0,684	(–)
P27_3. Aplicarse una deducción que no le corresponde al realizar el pago de impuestos (declaración de IVA o IRPF)	-1,422	2,253	0,677	(–)
P27_8. Que una pequeña empresa eluda o evite pagar el impuesto de sociedades	-1,723	2,95	0,642	(–)
P27_7. Que una gran empresa eluda o evite pagar el impuesto de sociedades	-1,984	3,177	0,565	(–)

Fuente: Elaboración propia.

La P8 recoge el juicio del entrevistado sobre si la recaudación de los impuestos que paga se administra adecuadamente en relación con las necesidades de las distintas políticas. Este factor no incluye las políticas del Estado de bienestar, el mantenimiento de las fuerzas y cuerpos de seguridad del Estado ni la creación o el mantenimiento de infraestructuras. Sólo recoge políticas públicas de largo plazo, denominadas como: Factor 3. Necesidad de financiación en políticas públicas de largo plazo.

Tabla 5. Factor 3. Necesidad de financiación en políticas públicas de largo plazo: medidas de forma, carga factorial y escala en cuestionario (ML3).

Etiqueta	Asimetría	Curtosis	Carga Factorial	Escala
P8_14. Investigación en ciencia y tecnología	-1,626	1,756	0,678	(–)
P8_13. Cooperación al desarrollo	-0,862	-0,246	0,669	(–)
P8_12. Protección del medio ambiente	-1,230	0,502	0,657	(–)
P8_7. Cultura	-0,880	-0,256	0,579	(–)
P8_8. Vivienda	-0,996	-0,028	0,569	(–)

Fuente: Elaboración propia.

La P6 recoge el nivel de satisfacción en escala inversa con el funcionamiento de diversos servicios públicos. Los que recoge el factor están directamente relacionados con el Estado de bienestar, y denominados como: Factor 4. Insatisfacción con el funcionamiento de los servicios públicos del Estado de bienestar.

Tabla 6. Factor 4. Insatisfacción con el funcionamiento de los SSPP del Estado de bienestar: medidas de forma, carga factorial y escala en cuestionario (ML4).

Etiqueta	Asimetría	Curtosis	Carga Factorial	Escala
P6_6. Los servicios sociales	0,194	-0,413	0,708	(−)
P6_9. La ayuda a personas dependientes	-0,197	-0,413	0,649	(−)
P6_4. La Administración de Justicia	-0,309	-0,365	0,624	(−)
P6_5. La seguridad ciudadana	0,324	-0,35	0,603	(−)
P6_2. La asistencia sanitaria	0,123	-0,309	0,553	(−)

Fuente: Elaboración propia.

La variable que tiene mayor carga factorial es *Ingresos del hogar* (P51), seguida de *Ingresos personales* (P52) y después el nivel de titulación de estudios del entrevistado y su estatus estimado por el CIS; ambas denominadas: Factor 5. Ascensor social.

Tabla 7. Factor 5. Ascensor social: medidas de forma, carga factorial y escala en cuestionario (ML5).

Etiqueta	Asimetría	Curtosis	Carga Factorial	Escala
P51. Ingresos del hogar	-0,043	-1,182	0,794	(+)
P52. Ingresos personales	0,605	-0,494	0,698	(+)
ESTUDIOS. Estudios de la persona entrevistada [recodificada]	-0,317	-1,093	0,651	(+)
ESTATUS. Estatus socioeconómico de la persona entrevistada [recodificada]	0,122	-1,378	-0,568	(−)

Fuente: Elaboración propia.

La P4 recoge la exigencia del entrevistado para otorgar el calificativo de buen ciudadano debida a cierto comportamiento moral y cívico. En este factor se observa cómo la variable con mayor carga factorial refleja la tolerancia con *la opinión de los demás, aunque sean diferentes a las propias* (P4_5), seguido de variables referidas a las responsabilidades propias: responsabilidad y honestidad (P4_6), cumplir normativa (P4_4) y no evadir impuestos (P4_3). En P4_3 se establece una excepción respecto al criterio de curtosis para no rechazar la normalidad multivariante debido a la connotación que aporta a la interpretación del factor. Todo ello queda englobado bajo la denominación: Factor 6. Moralidad ciudadana.

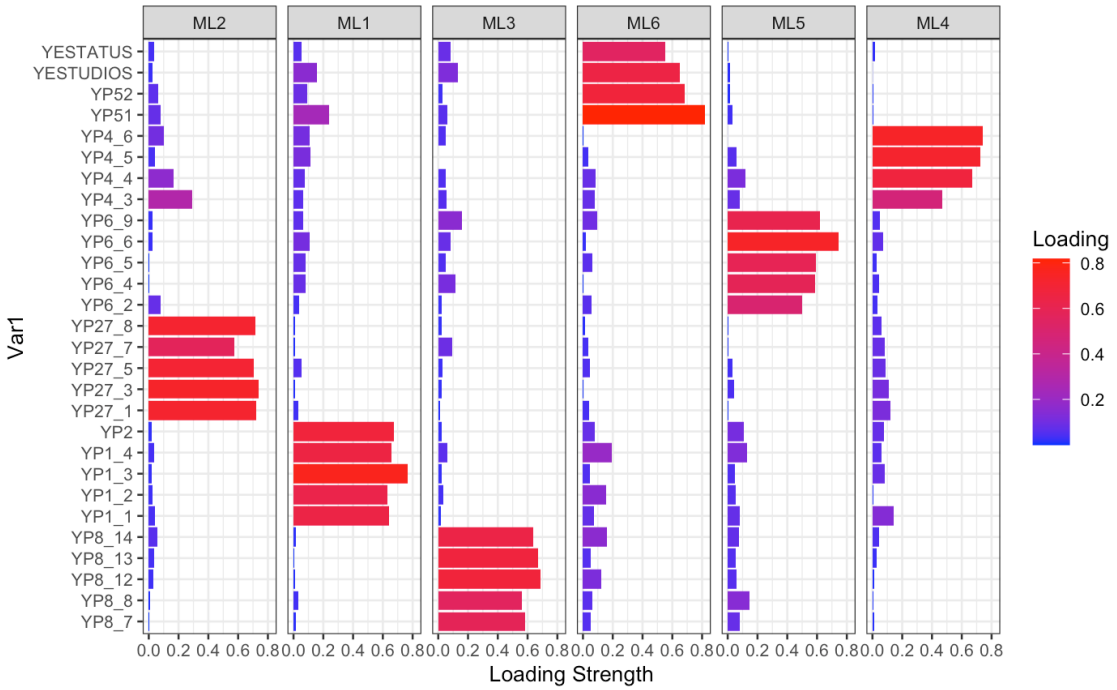
Tabla 8. Factor 6. Moralidad ciudadana: medidas de forma, carga factorial y escala en cuestionario (ML6).

Etiqueta	Asimetría	Curtosis	Carga Factorial	Escala
P4_5. Respetar las opiniones de los/as demás, aunque sean diferentes de las propias	-1,118	0,845	0,784	(+)
P4_6. Ser una persona responsable y honesta	-1,352	1,287	0,709	(+)
P4_4. Cumplir siempre las leyes y las normas	-1,208	1,147	0,626	(+)
P4_3. No evadir impuestos	-1,94	4,982	0,462	(+)

Fuente: Elaboración propia.

Una vez señalado lo anterior, en la Figura 8 se muestran los factores extraídos ordenados por las mayores cargas factoriales acumuladas respecto de las variables saturadas. Este gráfico permite comprender la estructura factorial respecto de las variables observadas de forma clara, valorando también las bajas cargas de las variables que no saturan y no se tienen en cuenta para dar nombre al factor. Esta estructura gráfica, que procede de una rotación Varimax, aporta indicios de relaciones estructurales relacionadas con los modelos de SEM (Bollen, 1989).

Figura 8. Representación policórica de cargas factoriales.



Fuente: Elaboración propia con ggplot 2 y *Psych*.

3.1.4. Contrastes de significación unidimensionales para el periodo de referencia

Las preguntas objetivo del Estudio CIS nº3259 que constan de 4 categorías se recodifican en dos categorías para proceder al simple contraste de hipótesis. Asimismo, las variables en el cuestionario aparecen en escala inversa, por lo que es menester recodificarlas de forma directa.

A continuación se procede al contraste de hipótesis de igualdad de medias siempre que se haya superado el contraste de normalidad univariante, o bien que los factores o variables procedan de una distribución normal multivariante siguiendo el criterio de asimetría y curtosis: rango $[-2, 2]$ (Muthen & Kaplan, 1992; Bandalos & Finney, 2014). Según este criterio no se rechaza cuando las puntuaciones factoriales F procedan de una población normal multivariante.

En las siguientes tablas únicamente se muestran los contrastes donde la diferencia de medias ha sido significativa, si bien cabe advertir: i) cuando se ha superado la prueba de Levene (Mandelbrot, 1961) de igualdad de varianzas, se ha procedido al contraste de la t de Student, y ii) cuando se ha rechazado la igualdad de varianzas, se ha procedido al contraste asintótico de Welch (1938; 1947).

De acuerdo a los resultados mostrados en la Tabla 9, los encuestados consideran que: i) los españoles son poco conscientes y responsables a la hora de pagar impuestos, lo que se traduce en una menor felicidad, en 0,21 desviaciones típicas (SD), y ii) hay menor interés en la financiación de políticas públicas de largo plazo, en 0,17 SD. Así, la menor felicidad probablemente no proviene del cumplimiento de las responsabilidades tributarias, sino del hecho de asumir comparativamente una mayor carga fiscal que las clases menos favorecidas, quienes en cambio más se benefician del Estado de bienestar (contrastes disponibles en anexo "Anexo 2 Factorial 3259 con contrastes de medias.spv"), y en el segundo caso, la falta de interés en la financiación de políticas de largo plazo probablemente obedece a la pertenencia a grupos sociales más favorecidos. Ambos resultados, sin embargo, hay que observarlos con cautela, a la espera de validación empírica ulterior que los confirmen.

Tabla 9. Contraste de la t de Student para la igualdad de medias de los factores sobre RP_16. ¿Cree Ud. que los/as españoles/as, a la hora de pagar impuestos, son muy conscientes y responsables, bastante conscientes y responsables, poco o nada conscientes y responsables? (0: poco o nada conscientes, 1: bastante o muy conscientes).

Variable	Sig.	Diferencia de Medias	IC (95%)	
			Inferior	Superior
F1. Felicidad	0,02	-0,21	-0,34	-0,08
F3. Necesidad de financiación de políticas públicas de largo plazo	0,004	0,19	0,06	0,32
F5. Ascensor Social	0,014	0,17	0,03	0,30

Fuente: Elaboración propia.

Los encuestados que se consideran a sí mismos muy conscientes y responsables en el pago de impuestos, son más intolerantes con el fraude fiscal (0,42 SD) y están más satisfechos con el funcionamiento de los servicios públicos del Estado de bienestar (0,35 SD). Este contraste: i) identifica el problema del fraude como algo externo al propio entrevistado, es decir, al resto de la ciudadanía; ii) las diferencias de medias son especialmente importantes, cercanas a 0,5 desviaciones típicas, y iii) la posición del propio entrevistado respecto de la obligación fiscal es especialmente diferenciadora de los prototipos de ciudadanía tributaria.

Tabla 10. Contraste de la t de Student para la igualdad de Medias de los factores sobre *RP_17. ¿Y Ud., personalmente, se considera a sí mismo/a, muy consciente y responsable, bastante consciente y responsable, poco o nada consciente y responsable? (0: poco o nada conscientes, 1: bastante o muy conscientes).*

Variable	Sig.	Diferencia de Medias	IC (95%)	
			Inferior	Superior
F2. Intolerancia con el fraude fiscal.	0	-0,42	-0,63	-0,21
F4. Insatisfacción con el funcionamiento de los servicios públicos del Estado de bienestar	0,001	0,35	0,14	0,56

Fuente: Elaboración propia.

Los encuestados que creen que existe mucho fraude fiscal en España consideran más necesaria la financiación de política públicas de largo plazo (0,48 SD), y están más satisfechos con los servicios públicos del Estado de bienestar (0,49 SD), con lo que se trata de ciudadanos moralmente muy comprometidos con el cumplimiento de las obligaciones tributarias.

Tabla 11. Contraste de la t de Student para la igualdad de medias de los factores sobre *RP_18. En su opinión, ¿cree Ud. que en España existe mucho fraude fiscal, bastante, poco o muy poco fraude fiscal? (0 = poco o muy poco, 1 = mucho o bastante)*

Variable	Sig.	Diferencia de Medias	IC (95%)	
			Inferior	Superior
F3. Necesidad de financiación de políticas públicas de largo plazo	0,005	-0,48	-0,82	-0,15
F4. Insatisfacción con el funcionamiento de los servicios públicos del Estado de bienestar	0,004	-0,49	-0,83	-0,15

Fuente: Elaboración propia.

Los encuestados que consideran que poca gente declara todos sus ingresos tributarios aprecian que hay una menor necesidad de financiación de las políticas públicas a largo plazo (0,24 SD), quienes a su vez están situados en una posición levemente inferior en la escala social (0,16 SD). Ambos contrastes, aunque significativos estadísticamente, muestran pequeñas diferencias entre ambos grupos. Esto viene a corroborar lo que se dedujo en el contraste en RP18, respecto de la necesidad de financiación en las políticas públicas de largo plazo. En segundo lugar, RP_19 sitúa al entrevistado en la valoración del volumen de fraude fiscal en su entorno social inmediato; por lo que, a medida que la posición en la escala social es inferior se percibe una mayor ocultación de rentas sobre los que tributar. Por último, en relación a la categoría recodificada *"RP_20. Y entre la gente que Ud. conoce que está obligada a declarar el IVA (profesionales, autónomos/as, etc.), ¿cuánta cree Ud. que declara realmente todos sus ingresos al hacer la declaración del IVA: toda o casi toda, bastante, poca o ninguna?",* no se detectan diferencias significativas en términos de contraste de igualdad de medias respecto de ninguno de los factores.

Tabla 12. Contraste de Welch para la igualdad de medias de los factores sobre *RP_19." Entre la gente que conoce, ¿cuánta cree Ud. Que declara realmente todos sus ingresos al hacer la declaración de la renta (IRPF): toda o casi toda, bastante, poca o ninguna?" (0 = poca o ninguna, 1 = casi toda o bastante)*

Variable	Sig.	Diferencia de Medias	IC (95%)	
			Inferior	Superior
F3. Necesidad de financiación de políticas públicas de largo plazo	0,004	-0,24	-0,41	-0,08
F5. Ascensor social	0,024	-0,16	-0,31	-0,02

Fuente: Elaboración propia.

Por último, los participantes encuestados que piensan que los impuestos se cobran con justicia están más satisfechos con el funcionamiento de los servicios públicos del Estado de bienestar (0,44 SD), de lo que se infiere que el cobro de impuestos se considera más justo en la medida en que se reciben contraprestaciones del Estado de carácter social.

Tabla 13. Contraste de la t de Student para la igualdad de medias de los factores sobre *RP_15. Y, ¿cree Ud. que, en general, los impuestos se cobran con justicia esto es, que pagan más quienes más tienen, o no lo cree así?*

Variable	Sig.	Diferencia de Medias	IC (95%)	
			Inferior	Superior
F4. Insatisfacción con el funcionamiento de los servicios públicos del Estado de bienestar	0	-0,44	-0,65	-0,23

Fuente: Elaboración propia.

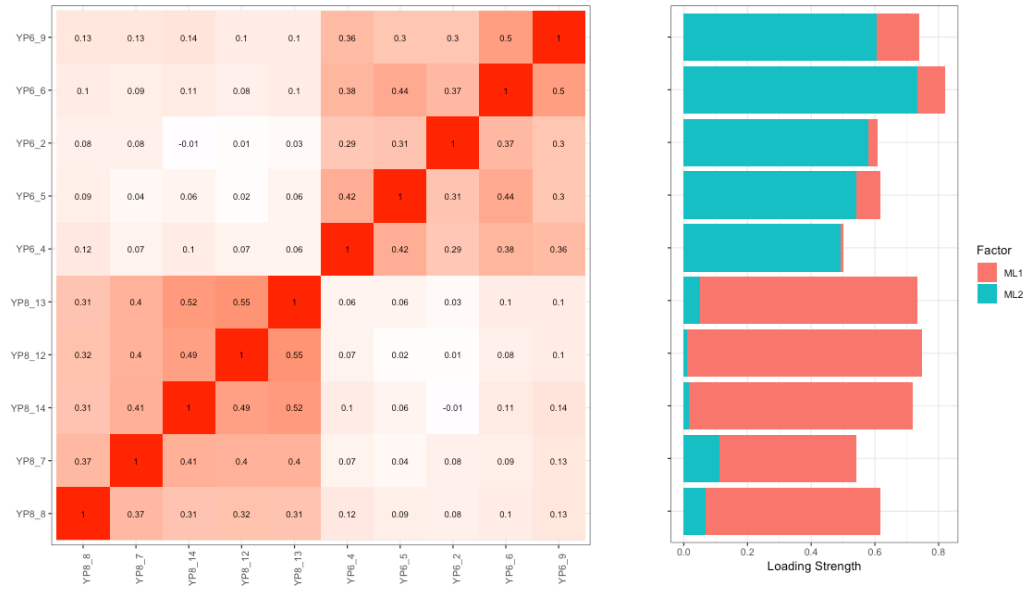
3.2. Análisis factorial máximo verosímil con extracción Varimax simultáneo para los estudios CIS Nº3259 y CIS Nº2910.

A continuación, se ha procedido a recodificar en términos de la encuesta de 2019 las variables de 2011 que son comparables, con lo que arroja una base de datos de tamaño efectivo de 4.932 líneas (Sintaxis de recodificación en anexo "Sintaxis 2 RECOD CIS3259 CIS2910.sps". Nótese que debemos transformar la variable ESTUDIOS de CIS3259 para que coincida con las categorías de CIS2910. En el resto de las transformaciones se adecúan las variables de CIS2910 a CIS3259). El punto de partida es la extracción por máxima verosimilitud de forma análoga al apartado anterior, pero únicamente con las variables que han participado en la extracción de los factores, lo que se resume en F3 y F4 (Extracción ML en anexo "Anexo 3 AF ML CIS3259 CIS2910.spv"). A las variables se les añade el prefijo "*Y*" (tras su recodificación para R sustituyendo los valores perdidos por NA).

Tras seleccionar casos completos para realizar la extracción de ambos factores queda un tamaño muestral por casos completos aún mayor, de 2.447 que verifica el criterio de Hogarty. La práctica totalidad de las variables tiene un coeficiente de asimetría y curtosis perteneciente al intervalo [-2,2].

En la Figura 9, se observan las correlaciones entre pares de variables y las cargas en el modelo factorial.

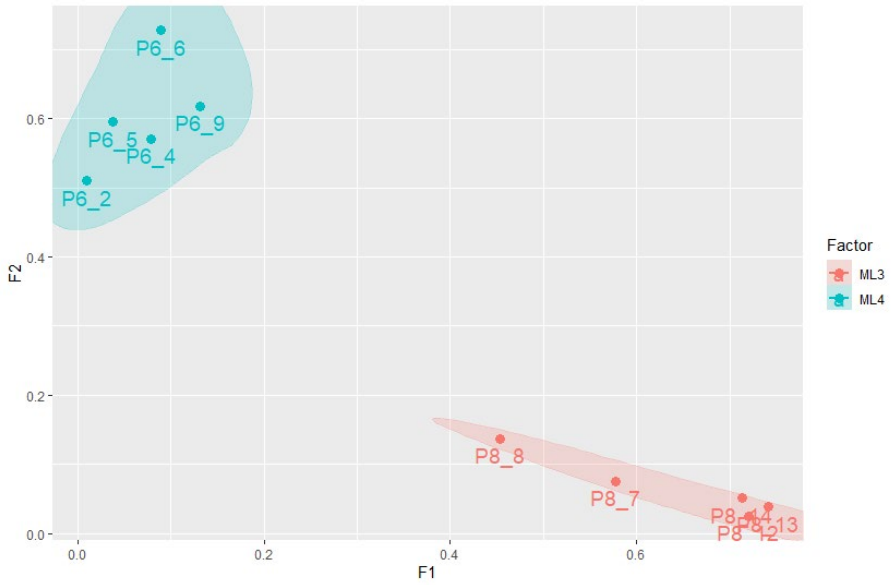
Figura 9. Matriz policórica de correlaciones y cargas factoriales acumuladas para el modelo conjunto AF ML CIS3259 y CIS2910.



Fuente: Elaboración propia con ggplot2 y *Psych*.

En la Figura 10 se observa cómo la proyección conjunta de las variables de ambos periodos en el espacio de factores rotados por Varimax, reconstruida respecto de los factores del periodo de referencia (ML3 y ML4), se mantiene bien diferenciada.

Figura 10. Espacio de factores rotados.



Fuente: Elaboración propia con ggplot2.

En la Tabla 14 se muestran los principales estadísticos de validación del modelo (cálculos en "Anexo 6 af stats CIS 2910 y 3259.spv" y "FA.pdf" y "Pconjunto19.pdf"). Teniendo en cuenta el pequeño número de variables que participan en la extracción del modelo factorial reproducido (AF ML 2), el determinante de la matriz de correlaciones es próximo a cero (Lloret-Segura et al., 2014). Así, todos los modelos quedan validados, sin bien es apreciable un cierto descenso en la bondad de los resultados del modelo referido al estudio CIS2910 (año 2011), respecto del modelo para CIS3259 (año 2019) que está directamente relacionado con el primer modelo (AF ML 6) que únicamente tiene en cuenta la estructura para el 2019 (Cálculos disponibles en el anexo "Anexo 1. Análisis Factorial y pruebas de normalidad CIS3259.spv". Los MSA en esta sección son en su mayoría superiores a 0'8).

Tabla 14. Estadísticos y contrastes de validación del modelo factorial conjunto.

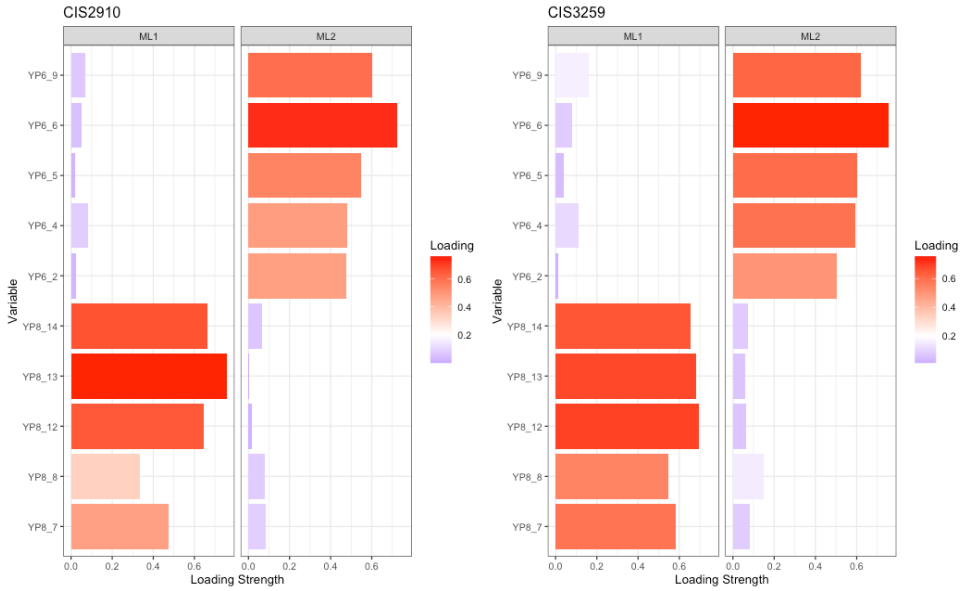
	AF ML 6 CIS3259	**AF ML 2 CIS3259 CIS2010**	**CIS3259**	**CIS2910**
N = casos completos	719	2474	1297	1177
$\|\boldsymbol{R}\|$	0,000	0,099	0,07	0,153
$\boldsymbol{KMO}$	0,818	0,802	0,829	0,757
$\boldsymbol{Sig.Bartlett}$	0	0	0	0
Mean Item pomplexity	1,1	1	1	1
Número de factores suficientes (Velicer test)	6	2	2	2
$\boldsymbol{RMSEA}$	0,046	0,053	0,052	0,058
$\boldsymbol{IC_{\alpha=0'1}(RMSEA)}$	(0′043 ,0′048)	(0′048 , 0′058)	(0′046, 0′059)	(0′052, 0′065)
RSMR	0,02	0,03	0,03	0,03
RSMR Corregido	0,03	0,04	0,03	0,04
BIC	-383,16	166,36	-1,23	39,51

FIT (*based off upon diagonal values*)	0,99	0,99	0,99	0,98
NNFI (Tucker & Lewis, 1973)	0,909	0,940	0,947	0,915

Fuente: Elaboración propia con SPSS 25 y *Psych*.

En la Figura 11 se compara la estructura de cargas factoriales para los modelos de cada uno de los periodos y, según se observa, se mantiene, aunque hay un cambio de variables próximas: en el periodo de referencia (CIS3259) la variable con mayor saturación es P8_12, mientras que en CIS2910 es P8_13.

Figura 11. Comparativa de cargas factoriales AF ML Varimax CIS3259 y CIS2910.



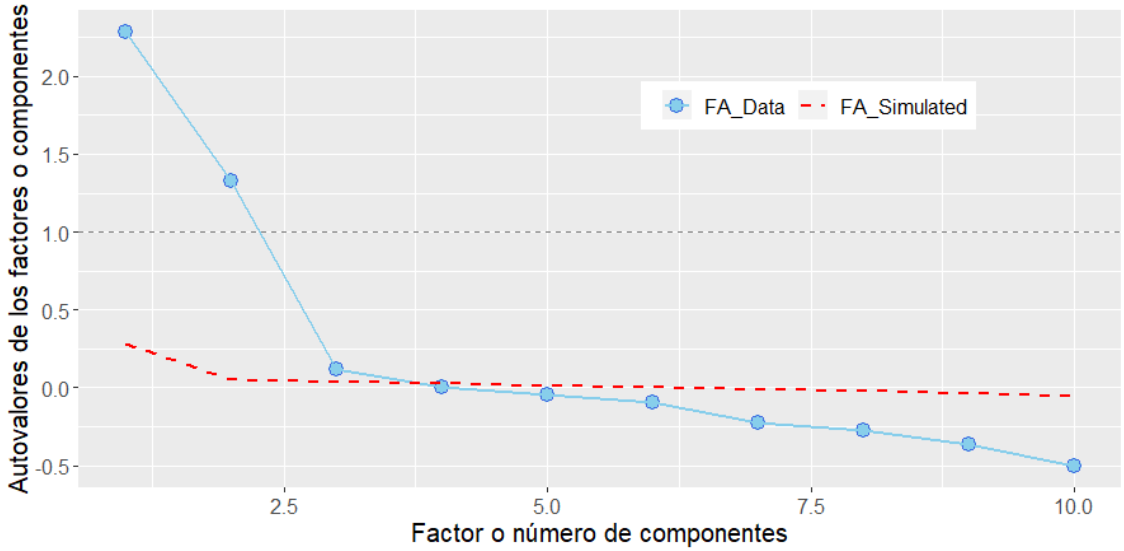
Fuente: Elaboración propia con ggplot2 y *Psych*.

La Figura 12 muestra el gráfico de sedimentación con el criterio de selección de Velicer, con una única extracción para ambos periodos. Se observa que la regla del codo indica la selección de 3 factores, así como el criterio del análisis paralelo. No obstante, no se verifica con tres factores, ni el criterio de Kaiser y tampoco es interpretable el tercer factor.

La Figura 13 muestra los gráficos de sedimentación y el análisis en paralelo para cada uno de los periodos con la misma estructura factorial. Nótese que el primer y el segundo autovalor son mayores respecto del periodo de referencia. Sin embargo, la estructura respecto del periodo 2011 es consistente, y de nuevo se seleccionarían en ambos casos dos factores por el mismo razonamiento antes explicado respecto del modelo factorial conjunto para ambos periodos.

En relación a la selección del número de factores, la Figura 14 se interpreta de idéntica manera a como se hizo para el modelo factorial para el periodo de referencia en la Figura 4. También se observa cómo el principio de parsimonia queda reflejado en el codo de los gráficos de bondad del ajuste.

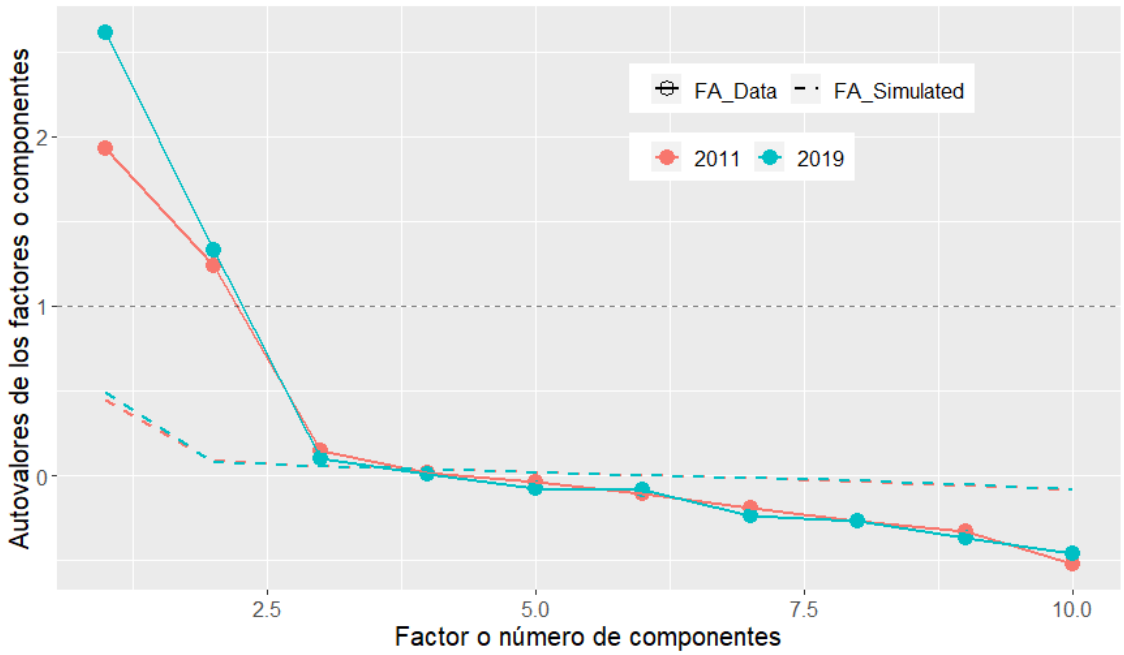
Figura 12. Gráfico MAP FA ML Varimax conjunto CIS3259 y CIS2910.



Fuente: Elaboración propia con *Psych y ggplot2*.

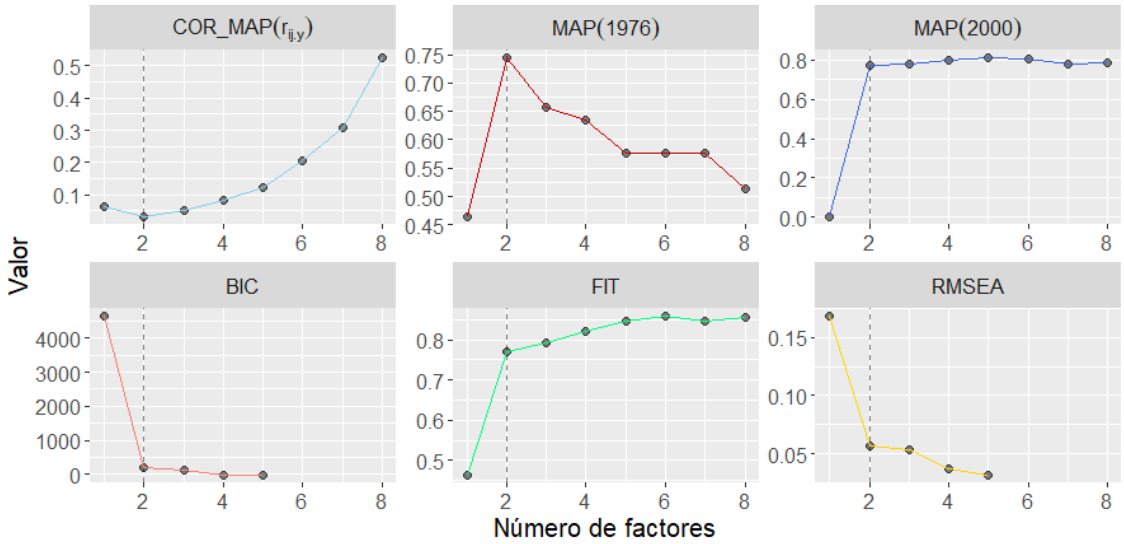
Finalmente, la estructura de selección se mantiene al comparar los criterios en ambos periodos, como muestra la Figura 13.

Figura 13. Gráfico MAP FA ML Varimax conjunto CIS3259 y CIS2910.



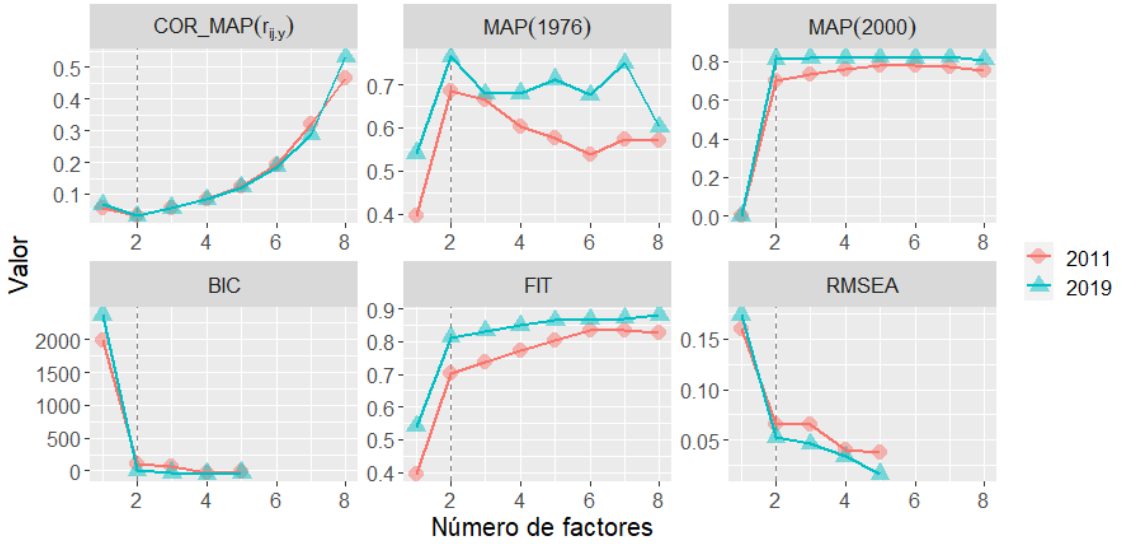
Fuente: Elaboración propia con *Psych y ggplot2*.

Figura 14. Criterios para confirmación del número de factores para el modelo factorial AF ML 2 conjunto CIS3259 CIS2910.



Fuente: Elaboración propia con *ggplot2* y *EFA.dimensions*.

Figura 15. Criterios para confirmación del número de factores para los modelos factoriales AF ML 2 CIS3259 CIS2910.



Fuente: Elaboración propia con *ggplot2* y *EFA.dimensions*.

3.3. Comparativa de las diferencias significativas entre ambos periodos.

A continuación, se procede a hacer un contraste de igualdad de medias. En esta sección sólo se muestran aquellas variables cuya diferencia es significativa en términos de contraste de hipótesis (Contrastes de hipótesis y estadísticos en anexo "Anexo 4 Contrastes y estadísticos CIS3259 CIS2910.spv"), con especial relevancia las que representan a los factores de 2019.

Tabla 15. Tabla de correspondencia para comparación de variables en 2011 y 2019.

Factor 2019	Relación con el modelo AF ML 6 CIS 3259 (Año 2019)	
ML1	Sin información	
ML2	Proxy	P27_1. No declarar todos los ingresos en el impuesto sobre la renta (IRPF)
ML3	Reconstruido	F3. Necesidad de Financiación en políticas públicas de largo plazo
ML4	Reconstruido	F4. Insatisfacción con el funcionamiento de los SSPP del Estado de bienestar
	Conceptual	P44. Valoración de la situación económica personal actual
ML5	3ª en carga (recodificada)	ESTUDIOSMIX.- ESTUDIOS 3359 en escala 2910
ML6	Sin información	

Fuente: Elaboración propia.

La mejor comparación posible se obtiene recuperando la estructura factorial de 2019: esto ocurre con ML3 y ML4. La segunda mejor alternativa es comparar las variables próximas: esto ocurre con ML2. La tercera mejor opción es comparar aquellas variables que habiendo participado en el factor tengan la mayor carga factorial posible respecto al modelo de 2019: esto ocurre con F5, representada por ESTUDIOSMIX. La cuarta opción es la comparación conceptual; si bien la variable no aparece en el factor original hay un paralelismo de contenido teórico entre la variable latente y la observada en ambos periodos: en este caso, la P44 (CIS2910) es conceptualmente aproximada a las variables P51(CIS3259) ingresos del hogar y P52(CIS3259) ingresos personales.

De acuerdo a metodología formulada en la sección 2.1, en la Tabla 16 se muestran las variables de auto identificación de los encuestados relevantes para el análisis del fraude fiscal y otros aspectos importantes.

Tabla 16. Tabla de variables objetivo en 2011 y 2019 y otras.

	Variable
Variables Objetivo	P10. Contraprestaciones que recibe la sociedad por el pago a las administraciones públicas de los impuestos y cotizaciones
	P18. Grado de fraude fiscal que existe en España
	P24. Valoración del esfuerzo de la Administración para la lucha contra el fraude fiscal
Curiosidad	P35. Edad de la persona entrevistada
Complementarios de F4	P8_1. Enseñanza, P8_2. Obras públicas, P8_3. Protección al desempleo
	P8_4. Defensa, P8_5. Seguridad ciudadana, P8_6. Sanidad, P8_9. Justicia
	P8_10. Seguridad Social/Pensiones, P8_11. Transporte y comunicaciones
	P8_15. Ayuda a personas dependientes

Fuente: Elaboración propia.

Las diferencias más relevantes para los años 2011 y 2019 quedan reflejadas en la Tabla 17, donde se pone de manifiesto la heterogeneidad de la unidad de medida desde variables politómicas de preferencia a variables como la edad con unidad de medida en años, e incluso en escalas directas e inversas. Asimismo, se observa que: i) ha aumentado la edad media de la población entrevistada en lo

relativo a la percepción de necesidad de llevar a cabo políticas públicas de largo plazo y ii) hay correlación entre el mayor nivel de estudios y la mejor situación económica personal, con el descenso en la percepción de necesidad de financiación de obras públicas.

Tabla 17. Prueba T de Student o asintótica de Welch de diferencias de medias (DM) significativas respecto a los periodos 2011 y 2019.

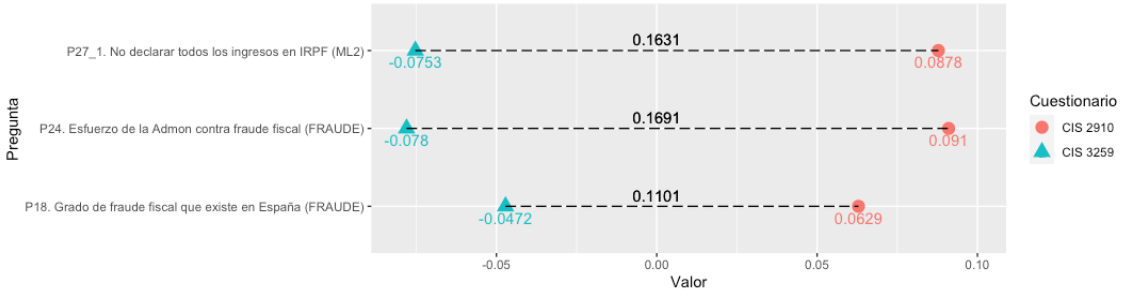
	P8_2. Obras públicas	ESTUDIOSMIX.- ESTUDIOS CIS3359 en escala CIS2910	F3. Necesidad de Financiación en Políticas Públicas de Largo Plazo.	P35. Edad de la persona entrevistada	P44. Situación económica personal (INV)
Unidad de medida	Likert: (3 categorías)	Likert (5 categorías)	SD	Años	Likert (5 categorías)
Media CIS 2910	1,98	3,0772	-0,2717347	47,16	2,94
Media CIS 3259	2,25	3,5713	0,2465935	50,62	2,16
DM	0,27	0,4941	0,5183282	3,46	-0,78

Fuente: Elaboración propia.

En la Figura 16 se muestran las posiciones de la media de cada variable en desviaciones típicas respecto a la media de las variables tipificadas con corrección de signo de escala (Z^*) en ambos años. Esta medida permite evaluar cuáles han sido los cambios más relevantes en el comportamiento medio de las variables.

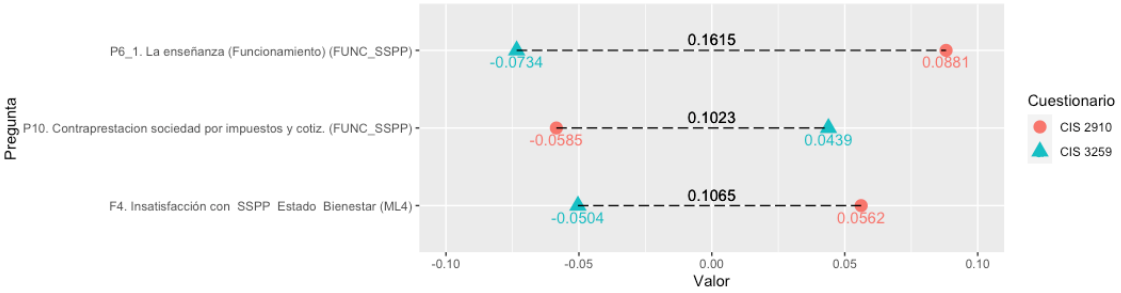
Finalmente, aunque la diferencia de medias no es elevada en las variables ESTATUS y ESTUDIOSMIX, se observa un cambio en la forma de la distribución, como se muestra en las figuras 16 a 19.

Figura 16. Diferencias estadísticamente significativas Fraude Fiscal CIS 2910 y CIS3259 en puntuaciones Z*.



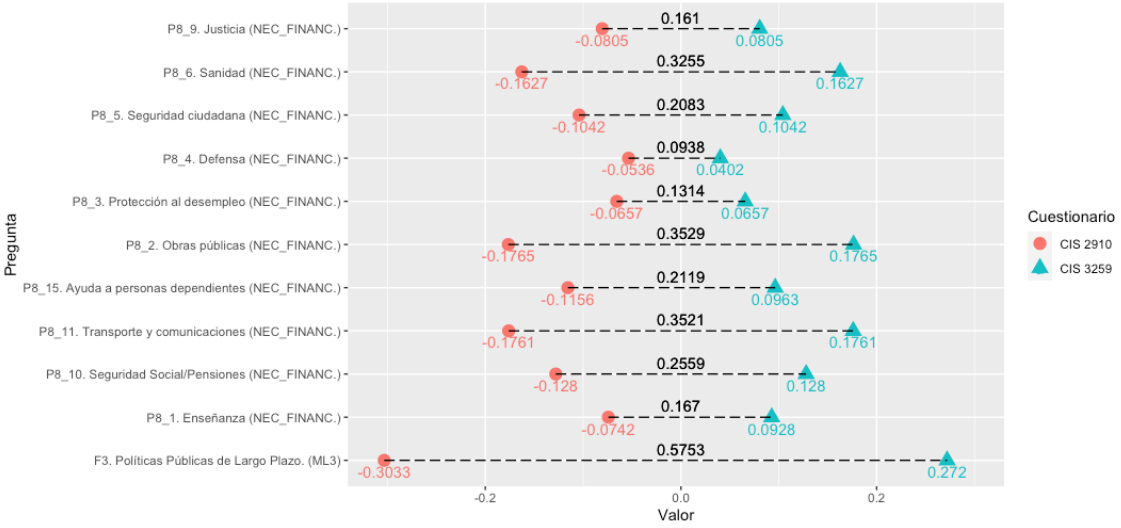
Fuente: Elaboración propia.

Figura 17. Diferencias estadísticamente significativas funcionamiento de los Servicios Públicos CIS 2910 y CIS3259 en puntuaciones Z*.



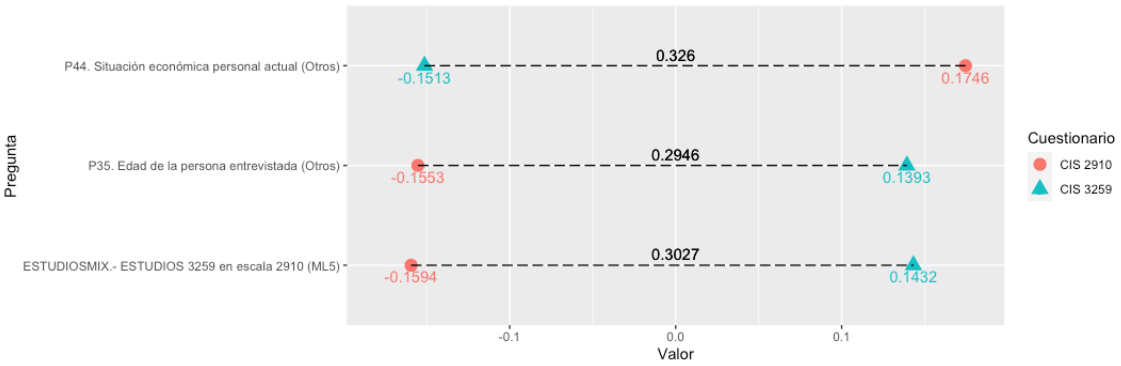
Fuente: Elaboración propia.

Figura 18. Diferencias estadísticamente significativas Necesidad de Financiación de los Servicios Públicos CIS 2910 y CIS3259 en puntuaciones Z*.



Fuente: Elaboración propia.

Figura 19. Diferencias estadísticamente significativas perfil personal CIS 2910 y CIS3259 en puntuaciones Z*.



Fuente: Elaboración propia.

4. Discusión

A lo largo de la presente investigación se han constatado las dificultades metodológicas en la comparación de encuestas, tales como: i) el añadido de nuevas preguntas o la eliminación de otras; ii) la selección de las variables a comparar; iii) la recodificación entre cuestionarios no coincidentes y iv) la discrecionalidad en las unidades de medida de las variables. Con estas dificultades presentes, el trabajo empírico realizado es un proceso de transición desde el análisis exploratorio al análisis confirmatorio (entendido como un análisis factorial restringido).

La propuesta metodológica validada en los resultados es un procedimiento que, en efecto, permite recuperar la estructura factorial, realizar comparaciones entre variables y recodificar las unidades de medida y en la escala, en dos periodos o años. Para verificar tal relación, se ha aumentado el nivel de exigencia habitual para la selección de variables que participan en el modelo exploratorio, tanto en el valor de la carga factorial (para considerar que las variables son saturadas por el factor la carga debía ser de al menos 0,7 en términos generales), como en la mejora en la extracción maximoverosimil en todas las comunalidades, lo que en conjunto ha permitido comparar el modelo exploratorio con contrastes y criterios del número de factores adecuado, propio del análisis factorial confirmatorio y las SEM.

En ciencias sociales el principio de interpretabilidad tiene una importancia medular, si bien está sujeto a multitud de dificultades. No obstante, en virtud de los resultados antes mostrados, se confirma la validez del criterio experto del análisis fundamentado en el principio de interpretabilidad al margen del criterio exploratorio, a través de los criterios de selección cuantitativos (Kaiser, codo en el gráfico de sedimentación y VTE), las pruebas (COR_MAP, MAP76 y MAP2000) y los criterios (FIT, VSS, RMESEA).

En lo relativo al principio de parsimonia en la regla del codo del gráfico de sedimentación (Figuras 2, 4, 12, 13), se ha demostrado ser aplicable a los estadísticos confirmatorios (BIC, FIT y RMSEA), si bien es necesario tomar en consideración dos criterios ampliamente aceptados en el modelado de las SEM: i) rigurosidad con la separación en las cargas factoriales, donde se propone un criterio de una diferencia de 0,3 entre la carga máxima y la anterior (particularmente véase la separación mostrada en las figuras de matrices policóricas con cargas factoriales asociadas (Figuras 7 y 9), y en los gráficos de cargas (figuras 8 y 11), y ii) optimización en las comunalidades en la extracción por máxima verosimilitud.

Los resultados antes mostrados constatan que la regla del codo aplicada a los estadísticos de confirmación del número de factores (BIC, FIT y RMESA) (véase las Figuras 6, 14 y 15), el número de factores que recomienda la aplicación del principio de parsimonia coincide con los criterios de selección de correlaciones de Velicer [$min(r_{ij \cdot y})$], MAP (1976), MAP (2000). El gráfico del índice de complejidad de Hoffman (Figura 5) es especialmente interesante para detectar las variables menos adecuadas para incluirlas en el modelo factorial desde punto de vista cuantitativo, al margen del principio de interpretabilidad.

La metodología propuesta permite comprobar la consistencia de la estructura factorial para la reconstrucción de un periodo anterior (CIS2910) respecto a uno de referencia (CIS3259) y se manifiesta en los siguientes aspectos: i) mantenimiento o cambio de la variable próxima al factor; ii) posibilidad de medir la diferencia en las saturaciones de las variables que participan en la extracción para ponderar su nivel de importancia en cada periodo y iii) constatar si hay un debilitamiento o una mejora en los estadísticos de calidad del modelo factorial (BIC, FIT y RMSE<A) en el periodo en el que reconstruimos la estructura factorial.

En virtud de los resultados, se confirma la validez de la metodología propuesta en la sección 2.1 para la selección de las diferencias más significativas en términos de contraste y, en segundo lugar, que las transformaciones de las variables en la forma z_i^* facilitan considerablemente la interpretación y comparación de las diferencias.

Referencias

Arsham, H., & Lovric, M. (2011). Bartlett,s Test. In *International Encyclopedia of Statistical Science* (Issue March, pp. 87-88). Springer Berlin Heidelberg. https://doi.org/10.1007/978-3-642-04898-2_132

Bandalos, D. L., & Finney, S.J. (2014). The Reviewer,s Guide to Quantitative Methods in the Social Sciences. In G. R. Hancock & R. O. Mueller (Eds.), *The Reviewer,s Guide to Quantitative Methods in the Social Sciences* (pp. 93-114). Routledge. https://doi.org/10.4324/9780203861554

Bartlett, M.S. (1951). A further note on tests of significance in factor analysis. *British Journal of Statistical Psychology*, *4*(1), 1-2. https://doi.org/10.1111/j.2044-8317.1951.tb00299.x

Bjelland, I., Dahl, A.A., Haug, T.T., & Neckelmann, D. (2002). The validity of the Hospital Anxiety and Depression Scale. *Journal of Psychosomatic Research*, *52*(2), 69-77. https://doi.org/10.1016/S0022-3999(01)00296-3

Bollen, K.A. (1989). *Structural Equations with Latent Variables*. John Wiley & Sons.

Cerny, B.A., & Kaiser, H.F. (1977). A Study Of A Measure Of Sampling Adequacy For Factor-Analytic Correlation Matrices. *Multivariate Behavioral Research*, *12*(1), 43-47. https://doi.org/10.1207/s15327906mbr1201_3

CIS (Centro de Invetigaciones Sociológicas) (2011a). *2910| Opinión Pública y Política Fiscal (XXVIII)*. Catálogo de Encuestas.

CIS (2011b). *Ficha Técnica 2910| Opinión Pública y Política Fiscal (XXVIII)*. http://www.cis.es/cis/export/sites/default/-Archivos/Marginales/2900_2919/2910/Ft2910.pdf

CIS (2020). *Cuestionario del Estudio: Opinión Pública y Política Fiscal XXXVI SEP 19*. http://www.cis.es/cis/export/sites/default/-Archivos/Marginales/3240_3259/3259/cues3259.pdf

CIS (2019a). *Estudio Nº 3259 Opinión Pública y Política Fiscal (XXXVI).* http://www.cis.es/cis/opencm/ES/1_encuestas/estudios/ver.jsp?estudio=14464

CIS (2019b). *Ficha Técnica Estudio CIS 3259* (pp. 1-2). CIS. http://www.cis.es/cis/export/sites/default/-Archivos/Marginales/3240_3259/3259/FT3259.pdf

Clark, D.A., & Bowles, R.P. (2018). Model Fit and Item Factor Analysis: Overfactoring, Underfactoring, and a Program to Guide Interpretation. *Multivariate Behavioral Research*, *53*(4), 544-558. https://doi.org/10.1080/00273171.2018.1461058

Conway, J.M., & Huffcutt, A.I. (2003). A Review and Evaluation of Exploratory Factor Analysis Practices in Organizational Research. *Organizational Research Methods*, *6*(2), 147-168. https://doi.org/10.1177/1094428103251541

Erdfelder, E., FAul, F., Buchner, A., & Lang, A.G. (2009). Statistical power analyses using G*Power 3.1: Tests for correlation and regression analyses. *Behavior Research Methods*, *41*(4), 1149-1160. https://doi.org/10.3758/BRM.41.4.1149

Fabrigar, L. R., Wegener, D. T., MacCallum, R. C., & Strahan, E. J. (1999). Evaluating the use of exploratory factor analysis in psychological research. *Psychological Methods*, *4*(3), 272-299. https://doi.org/10.1037/1082-989X.4.3.272

Faul, F., Erdfelder, E., Lang, A.G., & Buchner, A. (2007). G*Power 3: A flexible statistical power

analysis program for the social, behavioral, and biomedical sciences. *Behavior Research Methods*, *39*(2), 175-191. https://doi.org/10.3758/BF03193146

Fernández, R., & Cao, R. (2020). *Simulación Estadística*. Universidad de la Coruña. https://rubenfcasal.github.io/simbook/Simulacion.pdf

Ferrando, P.J., & Anguiano-Carrasco, C. (2010). El análisis factorial como técnica de investigación en psicología. *Papeles del Psicólogo*, *31*(1), 18-33.

Gao, S., Mokhtarian, P.L., & Johnston, R.A. (2008). Nonnormality of data in structural equation models. *Transportation Research Record*, *2082*, 116-124. https://doi.org/10.3141/2082-14

Hofmann, R.J. (1978). Complexity and Simplicity as Objective Indices Descriptive ff Factor Solutions. *Multivariate Behavioral Research*, *13*(2), 247-250. https://doi.org/10.1207/s15327906mbr1302_9

Hogarty, K.Y., Hines, C.V., Kromrey, J.D., Ferron, J.M., & Mumford, K.R. (2005). The Quality of Factor Solutions in Exploratory Factor Analysis: The Influence of Sample Size, Communality, and Overdetermination. *Educational and Psychological Measurement*, *65*(2), 202-226. https://doi.org/10.1177/0013164404267287

Horn, J.L. (1965). A rationale and test for the number of factors in factor analysis. *Psychometrika*, *30*(2), 179-185. https://doi.org/10.1007/BF02289447

Ibar, R. (2014). *Nueva Metodología de recogida de información para su tratamiento a través del análisis multivariante y los modelos de ecuaciones estructurales. Aplicación en el ámbito universitario.* CEU San Pablo.

IBM Corp. (2017). *IBM SPSS Statistics for Windows, Version 25.0*. IBM Corp.

Jefatura del Estado. (2003). Legislación Consolidada Ley 58/2003, de 17 de diciembre, General Tributaria. *BOE*, *302*, 1-168.

Jombart, T., Devillard, S., & Balloux, F. (2010). Discriminant analysis of principal components: a new method for the analysis of genetically structured populations. *BMC Genetics*, *11*(1), 94. https://doi.org/10.1186/1471-2156-11-94

Jones, D.H. (1994). Book Review: Statistical Methods, 8th Edition George W. Snedecor and William G. Cochran Ames: Iowa State University Press, 1989. xix + 491 pp. *Journal of Educational Statistics*, *19*(3), 304-307. https://doi.org/10.3102/10769986019003304

Kaiser, H.F. (1958). The varimax criterion for analytic rotation in factor analysis. *Psychometrika*, *23*(3), 187-200. https://doi.org/10.1007/BF02289233

Kaiser, H.F. (1974). An index of factorial simplicity. *Psychometrika*, *39*(1), 31-36. https://doi.org/10.1007/BF02291575

Kassambara, A. (2019). *ggcorrplot: Visualization of a Correlation Matrix using "ggplot2."*

Kaufman, J.D., & Dunlap, W.P. (2000). Determining the number of factors to retain: A Windows-based FORTRAN-IMSL program for parallel analysis. *Behavior Research Methods, Instruments, and Computers*, *32*(3), 389-394. https://doi.org/10.3758/bf03200806

Lawley, R.D., & Maxwell, A.E. (1971). *Factor analysis as a statistical method* (2ª Edición). Butterworths.

Likert, R. (1932). A technique for the measurement of attitudes [Thesis]. In R. S. Woodworth (Ed.), *Archives of Psychology* (Vol. 22, Issue 140). The Science Press.

Lloret-Segura, S., Ferreres-Traver, A., Hernández-Baeza, A., & Tomás-Marco, I. (2014). El análisis factorial exploratorio de los ítems: Una guía práctica, revisada y actualizada. *Anales de Psicologia*, *30*(3), 1151-1169. https://doi.org/10.6018/analesps.30.3.199361

Lorenzo-Seva, U., Timmerman, M.E., & Kiers, H.A.L. (2011). The Hull Method for Selecting the Number of Common Factors. *Multivariate Behavioral Research*, *46*(2), 340-364. https://doi.org/10.1080/00273171.2011.564527

Mandelbrot, B. (1961). Contributions to Probability and Statistics: Essays in Honor of Harold Hotelling (Ingram Olkin, Sudhist G. Ghurye, Wassily Hoeffding, William G. Madow, and Henry B. Mann, eds.). In *SIAM Review* (Vol. 3, Issue 1). https://doi.org/10.1137/1003016

Marais, I., & Andrich, D. (2007). *RUMMss. Rasch Unidimensional Measurement Models Simulation Studies Software, Version 2.0* (2nd ed.). The University of Western Australia.

Martín-Pliego, F.J. (2011). *Introducción a la Estadística Económica y Empresarial*. Paraninfo.

Microsoft Corporation. (2020). *Microsoft Excel*.

Muthen, B., & Kaplan, D. (1992). A comparison of some methodologies for the factor analysis of non-normal Likert variables: A note on the size of the model. *British Journal of Mathematical and Statistical Psychology*, *45*(1), 19-30. https://doi.org/10.1111/j.2044-8317.1992.tb00975.x

O'Connor, B.P. (2000). SPSS and SAS programs for determining the number of components using parallel analysis and Velicer,s MAP test. *Behavior Research Methods, Instruments, and Computers*, *32*(3), 396-402. https://doi.org/10.3758/bf03200807

O'Connor, B.P. (2020). *EFA.dimensions: Exploratory Factor Analysis Functions for Assessing Dimensionality*.

Peña, D. (2002). *Análisis de Datos Multivariantes*. McGraw-Hill.

Pettersson, E., & Turkheimer, E. (2010). Item selection, evaluation, and simple structure in personality data. *Journal of Research in Personality*, *44*(4), 407-420. https://doi.org/10.1016/j.jrp.2010.03.002

Price, L.R. (2014). *Investigating Perfect Model Fit in Higher-Order Confirmatory Factor Analysis through Exploratory / Confirmatory and Bayesian Approaches HCFA 1 Investigating Perfect Model Fit in Higher-Order Confirmatory Factor Analysis through Exploratory / Confirmatory*. *May*.

R Core Team. (2013). *R: A Language and Environment for Statistical Computing*. R Foundation for Statistical Computing.

Rahmer, B.D.J., Garzón Saénz, H., & Solana, J. (2020). Análisis comparativo de indicadores de capacidad multivariante. El caso del clúster manufacturero cartagenero Comparative analysis of multivariate capacity indicators. The case of the Cartagena manufacturing cluster. *Revista de Métodos Cuantitativos para la Economía y la Empresa*, *29*, 172-189.

Revelle, W. (2020). *psych: Procedures for Psychological, Psychometric, and Personality Research*.

Revelle, W., & Rocklin, T. (1979). Very Simple Structure: An Alternative Procedure For Estimating The Optimal Number Of Interpretable Factors. *Multivariate Behavioral Research*, *14*(4), 403-414. https://doi.org/10.1207/s15327906mbr1404_2

Rstudio Team (2020). *RStudio: Integrated Development for R*. Rstudio,PBC. http://www.rstudio.com

Shapiro, S.S., & Wilk, M.B. (1965). An analysis of variance test for normality (complete samples). *Biometrika*, *52*(3-4), 591-611. https://doi.org/10.1093/biomet/52.3-4.591

Sharma, S. (1996). *Applied Multivariate Techniques.* John Wiley and Sons Inc.

Smith, E.P. (1997). Methods of multivariate analysis. In *Journal of Statistical Planning and Inference* (Vol. 59, Issue 1). https://doi.org/10.1016/S0378-3758(96)00098-5

Smith, R.M., Schumacker, R.E., & Bush, M.J. (1998). Using item mean squares to evaluate fit to the Rasch model. *Journal of Outcome Measurement*, *2*(1), 66-78.

Spearman, C. (1927). The Abilities of Man their Nature and Measurement. *Nature*, *120*(3014), 181-183. https://doi.org/10.1038/120181a0

Stegmann, M.B., Sjöstrand, K., & Larsen, R. (2006). Sparse modeling of landmark and texture variability using the orthomax criterion. *Medical Imaging 2006: Image Processing*, *6144*, 61441G. https://doi.org/10.1117/12.651293

Steiger, J.H. and Lind, J. (1980). Statistically-based tests for the number of common factors. *Paper Presented at the Annual Spring Meeting of the Psychometric Society*.

Tennant, A., & Pallant, J. F. (2012). The Root Mean Square Error of Approximation (RMSEA) as a supplementary statistic to determine fit to the Rasch model with large sample sizes. *Rasch Measurement Transactions*, *25*(4), 1348-1349. https://www.rasch.org/rmt/rmt254d.htm

Thurstone, L.L. (1947). *Multiple-factor Analysis*. The University of Chicago Press.

Velicer, W.F. (1976). Determining the number of components from the matrix of partial correlations. *Psychometrika*, *41*(3), 321-327. https://doi.org/10.1007/BF02293557

Welch, B.L. (1947). The Generalization of Student's, Problem when Several Different Population Variances are Involved. *Biometrika*, *34*(1/2), 28. https://doi.org/10.2307/2332510

Welch, B.L. (1938). The significance of the difference between two means when the population variances are unequal. *Biometrika*, *29*(3-4), 350-362. https://doi.org/10.1093/biomet/29.3-4.350

West, S.G., Finch, J.F., & Curran, P.J. (1995). Structural Equation Models with Non Normal Variables: Problems and remedies. In R. H. Hoyle (Ed.), *Structural Equation Modeling: Concepts, Issues, and Applications* (pp. 56-75). Sage Publications.

Wickham, H. (2016). *ggplot2: Elegant Graphics for Data Analysis* (New York). Springer-Verlag New York. https://ggplot2.tidyverse.org

REVISTA DE MÉTODOS CUANTITATIVOS PARA LA ECONOMÍA Y LA EMPRESA (33). Páginas 386-407.
Junio de 2022. ISSN: 1886-516X. D.L: SE-2927-06.
www.upo.es/revistas/index.php/RevMetCuant/article/view/5313

Un enfoque de Seis Sigma para evaluar la calidad de la educación superior en Colombia

DELAHOZ-DOMÍNGUEZ, ENRIQUE
Universidad Tecnológica de Bolívar (Colombia)*
Correo electrónico: edelahoz@utb.edu.co

ZULUAGA-ORTIZ, ROHEMI
Universidad del Sinú (Colombia)
Correo electrónico: rohemi.zuluaga@unisinu.edu.co

PERIÑAN-LUNA, ARANTXA*
Correo electrónico: aperinan@utb.edu.co

MENDOZA-BRAND, SILVANA*
Correo electrónico: smendoza@utb.edu.co

RESUMEN

Las instituciones universitarias se enfrentan a retos de competitividad que se enmarcan en las exigencias de la sociedad, los cambios de preferencia de los estudiantes y la evolución tecnológica; esto plantea la necesidad de generar herramientas objetivas para la toma de decisiones que permitan identificar las instituciones que están aportando efectivamente a la formación de profesionales de alto nivel. En el presente trabajo se desarrolla una metodología bajo el enfoque Seis Sigma para medir el desempeño del sistema educativo. Para evaluar la metodología se utilizan datos del examen colombiano para la evaluación de la calidad en la educación superior para el área de Ingeniería. Los resultados muestran que el nivel sigma del sistema educativo colombiano se encuentra en Z= 2,17 y un rendimiento Y= 75%, lo que dentro de los criterios establecidos en la investigación es considerado un nivel Aceptable. Como aporte significativo del estudio se presenta una estructura para la evaluación, monitoreo y mejora de la educación universitaria utilizando el enfoque Seis Sigma. La estructura propuesta es replicable y reproducible a cualquier entorno educativo donde se implementen exámenes estandarizados.

Palabras clave: Seis Sigma, educación superior, analíticas de aprendizaje, mejora continua, calidad educativa.
Clasificación JEL: I21; I28; C13.
MSC2010: 97B40; 97D60.

Artículo recibido el 24 de septiembre de 2020 y aceptado el 16 de septiembre de 2021.

A Six Sigma Approach to Assessing the Quality of Higher Education in Colombia

ABSTRACT

University institutions face challenges of competitiveness derived from the demands of society, changes in student preferences, and technological evolution; this raises the need to generate objective tools for decision-making to identify the institutions that are effectively contributing to the training of high-level professionals. In this research, a methodology is developed under the Six Sigma approach to measuring the performance of the educational system. Evaluating the methodology, data from the Colombian test for the evaluation of quality in higher education in the area of engineering are used. The results show that the sigma level of the Colombian education system is at Z= 2.17 and a performance Y= 75%, which according to the criteria established in the research is considered an acceptable level. As a significant contribution of the study, a structure for the evaluation, monitoring, and improvement of university education using the Six Sigma approach is presented. The proposed structure is replicable and reproducible to any educational environment where standardized tests are implemented

Keywords: Six Sigma, higher education, learning analytics, continuous improvement, educational quality.
JEL classification: I21; I28; C13.
MSC2010: 97B40; 97D60.

1. Introducción

La educación universitaria enfrenta retos críticos en la actualidad asociados a sus dimensiones operativas y estratégicas. Según Visbal-Cadavid et al. (2020), la percepción social de las universidades está en decaimiento principalmente por una desconexión con sus principios estratégicos. La concepción general de los objetivos de una universidad moderna está enmarcada en la formación de profesionales idóneos, la generación de conocimiento a través de la investigación y el acompañamiento a la industria y la sociedad en su desarrollo. Sin embargo, la forma en que se mide el desempeño de las universidades ha generado distorsiones en las consideraciones de calidad para determinar la excelencia de una universidad. Es así como la posición en un ranking internacional (Shanghai, Times Higher Education) o la publicación de artículos de investigación se ha convertido en objetivos principales de muchas instituciones. En el anterior contexto, el objetivo de transformar personas a través de la generación de competencias en los estudiantes ha pasado a segundo plano; es así como la medición objetiva del desempeño relativo de las universidades se convierte en una necesidad para los tomadores de decisiones en el ámbito educativo (Pineda & Celis, 2017). Asociado a esto, se encuentra el aumento considerable de la oferta de nuevas universidades y programas académicos, lo que genera un contexto complejo de análisis para los futuros estudiantes con relación a qué y dónde estudiar. Consecuentemente, la evaluación de la calidad de las universidades se ha evidenciado por medio de acreditaciones institucionales, que son otorgadas por agencias independientes que evalúan el cumplimiento de estándares mínimos asociados a la infraestructura, proyección, pertinencia y recursos (Delahoz-Dominguez, Guillen-Ibarra & Fontalvo-Herrera, 2020).

En este contexto, las instituciones de educación deben responder a las necesidades de formación de capital humano que demanda la sociedad y posicionarse como una universidad de calidad a través de una acreditación o posicionamiento en un ranking; sin embargo, no siempre estas metas se encuentran alineadas. Por lo tanto, en la presente investigación se propone un enfoque de Seis Sigma para clasificar, caracterizar y evaluar instituciones de educación superior considerando exclusivamente los resultados académicos de los exámenes nacionales estandarizados a las universidades con programas de Ingeniería. Al considerar solo el aspecto académico por las competencias alcanzadas por los estudiantes se aíslan los factores externos que podrían confundir en la identificación de universidades que están prestando un servicio de alta calidad, pero por no estar clasificadas o referenciadas por una acreditación nacional e internacional no son consideradas como instituciones de excelencia. Así, se propone en primer lugar una revisión de trabajos anteriores para evaluar la calidad del servicio en la educación. En segundo lugar, se implementa la metodología Seis Sigma, considerando como unidades de estudio las universidades con programas de ingeniería en Colombia. En tercer lugar, se calculan las métricas de Nivel sigma (Z), Desempeño (Y) y Defectos Por Millón de Oportunidades (DPMO), para así caracterizar y evaluar las unidades de estudio. Por último, se plantea la discusión de los resultados y hallazgos del proceso de investigación, además de presentar las conclusiones pertinentes.

2. Revisión de la literatura

2.1. Calidad en los servicios

En la literatura encontramos distintos conceptos y enfoques de la calidad de los servicios, sin contar con los comentarios sobre la interpretación y variantes de la calidad en los servicios y la importancia de estos en escenarios competitivos.

Los servicios son actividades económicas que crean valor y proporcionan beneficios a los clientes en tiempos y lugares específicos como resultado de producir un cambio deseado. La percepción del cliente es la perspectiva más utilizada e importante en las evaluaciones de la calidad en servicios. Así mismo, el modelo Service Quality (SERVQUAL) propuesto hace más de 25 años aún es considerado un referente importante y es aplicado en diversos escenarios de servicios (Torres & Vásquez, 2018).

La calidad del servicio puede definirse como una medida en el grado en que el servicio prestado corresponde a las expectativas de los clientes. Por lo tanto, la calidad percibida en la prestación de un servicio se convirtió en un factor determinante de éxito en todos los campos de una actividad comercial. Por lo tanto, la capacidad que tiene una compañía u organización para estimar la calidad de un servicio es un requisito previo para lograr un alto nivel de calidad en dicha provisión del servicio (Hien, 2014; Lee & Kim, 2014).

Así mismo, la calidad está enfocada en la completa satisfacción del cliente y se puede aplicar al producto, servicio o la organización. La calidad total pretende obtener beneficios para todos los miembros de la empresa. Este mismo concepto es una alusión a la mejora continua, con el objetivo de lograr la calidad óptima de manera global (Zambrano & Alá, 2014).

Por otra parte, el modelo SERVPERF propuesto por Cronin y Taylor fue derivado del SERVQUAL propuesto por Parasuraman, el cual pretende medir la calidad del desempeño del servicio como es percibida por los clientes. No obstante, en SERVPERF se resalta que la calidad no necesita ser medida por medio de comparaciones de expectativas del desempeño (Lima et al., 2019).

En la investigación de Song y Lim (2015) se propuso un método para mejorar de la calidad del servicio (SQI), priorizando los atributos inherentes al servicio, así como las expectativas de los clientes para así generar una estimación de la brecha entre los niveles de satisfacción del empleado y clientes, además de un análisis comparativo entre la empresa y sus competidores.

2.2. Seis Sigma en los servicios

La estrategia de Seis Sigma aplica el método DMAIC (Define, Measure, Analyze, Improve, Control), que encaja perfectamente para la mejora efectiva de procesos. Así mismo, para poder impregnar la calidad en los productos se debe realizar desde la fase de diseño, se necesita un enfoque preventivo del diseño para el Seis Sigma Design for Six Sigma (Suresh et al., 2016).

Ahora bien, la filosofía, metodología o enfoque del Seis Sigma permite lograr la satisfacción total del cliente por medio de la reducción de las variaciones y aumentar la estabilidad del proceso, el objetivo principal del Seis Sigma es aumentar el nivel sigma, reduciendo los defectos por millón de oportunidades (DPMO) (Suman & Prajapati, 2018). El Seis Sigma tiene como fin alcanzar niveles de desempeño lo más cercano a la perfección, por lo que es un enfoque usado en muchas organizaciones y además su enfoque objetivo permite un proceso ordenado y sistemático, basado en la evidencia, la generación de analíticas de las entradas y procedimientos. Este enfoque de mejoramiento permite que pueda ser implementado indistintamente en compañías manufactureras o de servicios (Ishak et al., 2019).

Por otro lado, un aspecto fundamental del Seis Sigma es el uso de técnicas cuantitativas y estadísticas, enfocadas en la identificación y caracterización de la variabilidad en los procesos, por lo tanto el nombre del enfoque Seis Sigma está basado en la representación objetiva de la variabilidad de un conjunto de datos, lo que permite identificar los estados de conformidad de un proceso y consecuentemente generar el enfoque de Medir, Analizar, Mejorar y Controlar, de manera que el proceso se encuentre ajustado a los límites establecidos por los requisitos del cliente (Zambrano & Alá, 2014). La metodología del Seis Sigma para la mejora de procesos ha sido aceptada globalmente en toda la industria de servicios. En la pasada década, la aplicación de esta herramienta ha brindado resultados exitosos en las organizaciones del sector salud, gobierno, tecnologías de información y el financiero (Sunder & Antony, 2018).

Por su parte, la implementación del Seis Sigma permite la eliminación de todas las actividades que no añaden valor al proceso. El Seis Sigma es un proceso de mejora continua a lo largo del camino de la empresa, por lo que se necesita conceptualizar la calidad como un aspecto estratégico y contar con el respaldo de la alta directiva para garantizar los recursos necesarios para su óptimo desarrollo. El Seis Sigma hace contribuciones significativas en las principales áreas de las organizaciones en el largo y

medio periodo de desempeño, tales como: diseño del proceso, enfoque y mejoramiento de procesos, participación amplia en la resolución de problemas, intercambio de conocimientos, definición de objetivos, selección de proveedores y toma de decisiones basadas en los datos (Zare, 2011).

El Seis Sigma se compone de una parte estratégica caracterizada por el soporte incondicional de la alta directiva de una empresa y también de un conjunto de técnicas y procedimiento estandarizados alineados con el objetivo de la mejora continua y la sostenibilidad operativa y financiera de la compañía, lo que redunda en procesos robustos, con menor número de no conformidades. Otros aspectos críticos considerados en la metodología son la satisfacción del cliente y la competitividad, lo que algunos autores asocian directamente en la relación del Seis Sigma con el factor del servicio, conceptualizado como Servicio transaccional de Seis Sigma debido a que brinda a las organizaciones un enfoque disciplinado para mejorar la eficiencia del servicio y su eficacia (Hsieh et al., 2012; Shokri, 2014; Surange, 2015).

Consecuentemente de todos los beneficios expresados en la literatura asociada al Seis Sigma, la implementación de esta metodología enfrenta desafíos importantes en cuanto a la limitación de recursos que las compañías otorgan a los procesos de mejora, falta de entrenamiento del personal a cargo de la implementación y una estructura organizativa inadecuada (Gamal, 2011).

2.3. Seis Sigma en la educación

Aunque la gran mayoría de los términos y lenguajes del Seis Sigma están relacionados a los negocios y la manufactura, algunos de sus conceptos principales están relacionados con el campo de la educación. El alcance que se le ha dado al Seis Sigma en la educación es normalmente usado en casos muy específicos de mejora o en conjunto con el enfoque de Malcolm Baldrige para la excelencia en el desempeño (Baldrige criteria for Perfomance Excellence) para facilitar la aplicación de una estructura educativa de mejoramiento en las organizaciones (LeMahieu et al., 2017).

Sin embargo, existen opiniones divididas sobre la implementación del Seis Sigma en la educación, debido al hecho práctico que el desperdicio y el reproceso en la administración de educación no es tan visible como lo es en la industria manufacturera donde el material residual y las colas tienen una manifestación físicamente notoria (Svensson et al., 2015).

En cuanto al sector universitario, se evidencia que la mayoría de las instituciones no involucran el Seis Sigma dentro de su enfoque gerencial y administrativo debido al pensamiento arraigado que se tiene que esta herramienta de mejora solo se enfoca en procesos productivos y no para mejorar aspectos específicos del ámbito universitario como la docencia y la investigación. Sin embargo, estudios recientes resaltan que esta metodología tiene aplicaciones significativas en la parte de la medición del desempeño, que no es desarrollada de manera estratégica por las instituciones educativas para posteriores procesos de mejora y tampoco es considerado como un aspecto crítico de la gestión universitaria (Lu et al., 2017; Nadeau, 2017; Subbarayalu & Al Kuwaiti, 2017).

En ese mismo orden de ideas, estudios enfocados a la educación superior ilustran los desafíos en la implementación del Seis Sigma en entornos universitarios. Los retos incluyen la tarea de definir adecuadamente los clientes según su relación con la institución, la determinación del valor del servicio ofertado, las dificultades para evaluar el desempeño, la satisfacción de los empleados y la ausencia de esquemas dinámicos de compensación. Por lo tanto, es normal que las universidades consideren a los estudiantes como los clientes principales y el resto de la estructura compuesta por las facultades, los departamentos, el personal no docente y administrativo deben articular la cultura del cliente universitario (Maguad & Krone, 2012).

El modelo de Seis Sigma propuesto por el estudio de Bumjaid y Malik (2019) se centraba en el aprendizaje y entendimiento por parte de los estudiantes y que sus resultados estuviesen alineados a los requisitos de los procesos claves de la institución. Para lograr eso, se realizaba un análisis de la

variabilidad y se promovían los procesos de mejora de manera eficaz y sostenible en el proceso de aprendizaje.

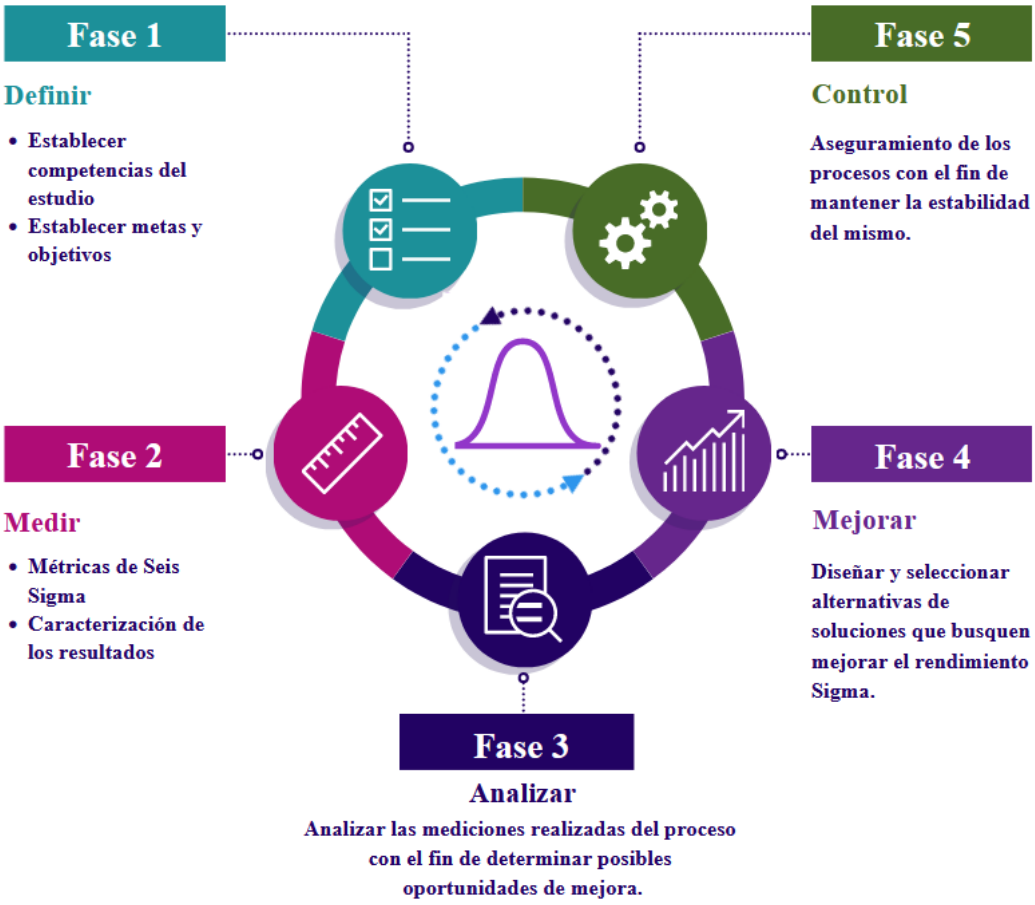
Por otra parte, en el trabajo de Sunder y Antony (2018) se propone un modelo de aplicación del Lean Six Sigma para las instituciones de educación superior, en el que asegura la excelencia de calidad para los proyectos educativos institucionales.

Finalmente, en el estudio de Nadeau (2017) se revisaron los resultados de la aplicación del Seis Sigma (DMAIC) en una institución de pregrado técnico prestigioso en Dubai (UAE) para la mejora del desempeño de los estudiantes en el curso "Introducción a Investigación de Operaciones (IO)". Finalmente, se evidenció que tras adoptar "La manera Seis Sigma", el nivel sigma del desempeño académico en IO aumentó de 2,78 a 4,23 en un periodo de un año.

3. Metodología y datos

El desarrollo de esta investigación es de tipo evaluativa y consta de cinco fases (Figura 1).

Figura 1. Metodología de la investigación.



Fuente: Elaboración propia.

La primera fase parte de un análisis racional que permitió establecer las unidades de estudio y sus respectivas métricas, que posteriormente son utilizadas para el desarrollo del trabajo, además, cabe resaltar que en esta primera fase se adapta y contextualiza la metodología Seis Sigma al campo educativo y se establece el nivel de conformidad de las variables del estudio. La segunda fase consiste en la aplicación del cálculo Defectos por Millón de Oportunidades (DPMO), estimación del nivel Sigma (Z) y el valor del rendimiento Yield (Y). La tercera fase corresponde al proceso de analizar las métricas aplicadas en la segunda fase para identificar las características, patrones de comportamientos y oportunidades de mejora del grupo de estudio. La cuarta etapa consiste en el diseño e implementación de planes que busquen aumentar el rendimiento sigma. Y finalmente, la quinta fase busca enmarcar la metodología en el ciclo de mejora continua mediante el aseguramiento de los procesos.

3.1. Descripción de la población

Por otro lado, la base de datos utilizada resumida en la Tabla 1 contiene 12.411 observaciones que corresponden a los resultados de las evaluaciones aplicada a los estudiantes de los programas de ingeniería en Colombia (Delahoz-Domínguez, Zuluaga & Fontalvo-Herrera, 2020). Esos resultados son tomados de las bases de datos publicadas por el Instituto Colombiano para la Evaluación de la Educación (ICFES).

Tabla 1. Información de las variables del estudio.

Variable	Nombre Completo	Promedio
RC	Razonamiento Cuantitativo	77,42
LC	Lectura Crítica	62,20
CC	Competencias Ciudadanas	59,19
ING	Inglés	67,50
CE	Comunicación escrita	53,70

Fuente: Tomado de Dataset of academic performance evolution for engineering students (2020).

3.2. Competencias académicas

Al finalizar los estudios académicos de una institución de educación superior, los estudiantes deben realizar una prueba de conocimiento; en el caso de Colombia esta prueba se llama SABERPRO. Esta prueba es realizada por el Instituto Colombiano para la Evaluación de la Educación (ICFES) con el fin de medir la calidad de todas las universidades públicas o privadas, estén acreditadas o no. Por otro lado, la estructura del examen consta de dos partes: la primera evalúa las competencias genéricas de todo profesional y la segunda evalúa las competencias específicas del programa académico al que pertenece un estudiante, Consecuentemente, para el desarrollo de esta investigación se seleccionó el módulo de competencias genéricas (Tabla 2).

Por su parte, los resultados por cada competencia estarán dentro de rangos, que se llaman niveles, estos niveles determinan el nivel de desempeño de un estudiante en una competencia especifica (Tabla 3). Cabe resaltar que cuanto más alto sea el puntaje del estudiante, mayor será su nivel y en consecuencia su desempeño.

Tabla 2. Descripción de las competencias.

Competencia	¿Qué se pretende evaluar en la competencia?
Comunicación escrita	Competencia para comunicar ideas por escrito respecto a un tema en específico. En esta prueba se plantea una problemática, con la que el estudiante deberá desarrollar un texto argumentativo.
Razonamiento cuantitativo	Habilidades matemáticas que todo ciudadano debe tener, independientemente de su profesión u oficio, en las competencias de interpretación y representación, argumentación, formulación y ejecución en temas como álgebra, cálculo, geometría y estadística.
Lectura crítica	Habilidades para comprender, interpretar y evaluar textos, entender el significado de palabras frases, relacionar las partes de un texto para darle sentido global, determinar si las razones del autor son o no convincentes e identificar argumentos y supuestos.
Competencias ciudadanas	Conocimiento y habilidades necesarias para comprender el entorno social, sus problemáticas y analizar diversas posturas en situaciones de conflicto, así como competencias en la argumentación, conocimientos, multiperspectivismo y pensamiento sistémico.
Inglés	Competencia comunicativa en lengua inglesa a partir de pruebas de lectura, léxico y gramática.

Fuente: Tomado del repositorio del ICFES (2020).

Tabla 3. Descripción de los niveles por competencias.

Competencia	Descripción del nivel	Características del nivel
Comunicación escrita	I: Construye un texto legible a partir del uso adecuado de la lengua.	Responde a la pregunta planteada en la tarea (si este aspecto no se cumple, los textos deben ser clasificados como impertinentes).
		Presenta dificultades en el manejo de la convención (sintaxis, escritura de las palabras, segmentación, omisión de letras, etc.) que no permiten la comprensión de sus ideas.
		Expresa ideas desarticuladas entre sí, que no den cuenta de un planteamiento.
	II: Usa apropiadamente la acentuación y reglas de escritura.	Evidencia un planteamiento o posición personal para cumplir una intención comunicativa.
		Incluye argumentos que buscan justificar la posición defendida.
	III: Usa apropiadamente la gramática y reglas de escritura.	Presenta algunas fallas en su estructura y organización, por lo que carecen de unidad semántica.
		Muestra algunas contradicciones o repeticiones que afectan la comprensión del texto.
	IV: Construye un texto a nivel básico de forma concisa.	Presenta algunos errores en el manejo de la convención, que afecta la comunicación de sus ideas.
		Emplea una estructura básica con inicio, un desarrollo y una conclusión.
	V: Emplea estrategias retóricas transversales para apoyar una posición.	Desarrolla argumentos que apoyan la posición planteada.
		Tiene unidad semántica, aunque puede incluir información innecesaria que afecta la fluidez.
	VI: Escribe un texto con cohesión.	Posee buena cohesión local, aunque se identifican algunos errores.
		Muestra diferentes perspectivas sobre el tema que complejizan el planteamiento y permiten cumplir satisfactoriamente con el propósito comunicativo propuesto en la pregunta.
	VII: Compone un texto argumentativo con	Presenta ideas complejas y argumentos que se apoyan en una variedad de estrategias como citas, ejemplos, explicaciones, etc.

	coherencia local y global.	Presenta recursos semánticos, pragmáticos, y estilísticos, entre otros mecanismos cohesivos, que garantizan la coherencia y fluidez del texto.
	VIII: Defiende correctamente su postura.	Presenta una cohesión adecuada mediante el uso de nexos y conectores. No se omiten palabras, ni se pierden referentes.
		Usan signos de puntuación, referencias gramaticales, conectores, entre otros mecanismos cohesivos, que garantizan la coherencia y fluidez del texto.
Razonamiento cuantitativo	I: Comprende y transforma la información cuantitativa y esquemática presentada en distintos formatos.	Da cuenta de las características básicas de la información presentada en diferentes formatos como series, gráficas, tablas y esquemas.
		Transforma la representación de una o más piezas de información.
	II: Frente a un problema que involucre información cuantitativa, plantea e implementa estrategias que lleven a soluciones adecuadas.	Diseña planes para la solución de problemas que involucran información cuantitativa o esquemática.
		Ejecuta un plan de solución para un problema que involucra información cuantitativa o esquemática.
		Resuelve un problema que involucra información cuantitativa o esquemática.
	III: Valida procedimientos y estrategias matemáticas utilizadas para dar solución a problemas.	Plantea afirmaciones que sustentan o refutan una interpretación dada a la información disponible en el marco de la solución de un problema.
		Argumenta a favor o en contra de un procedimiento para resolver un problema a la luz de criterios presentados o establecidos.
		Establece la validez o pertinencia de una solución propuesta a un problema dado.
Lectura crítica	I: Identifica y entiende los contenidos locales que conforman un texto.	Entiende el significado de los elementos locales que constituyen un texto.
		Identifica los eventos narrados de manera explícita en un texto (literario, descriptivo, caricatura o cómic) y los personajes involucrados (si los hay).
	II: Comprende cómo se articulan las partes de un texto para darle un sentido global.	Comprende la estructura formal de un texto en función de sus partes.
		Identifica y caracteriza las diferentes voces o situaciones presentes en un texto.
		Comprende las relaciones entre partes o enunciados de un texto.
		Identifica y caracteriza las ideas o afirmaciones presentes en un texto informativo.
		Identifica el tipo de relación existente entre diferentes elementos de un texto (discontinuo)
	III: Reflexiona a partir de un texto y evalúa su contenido.	Establece la validez e implicaciones de un enunciado de un texto (argumentativo o expositivo)
		Establece relaciones entre un texto y otros textos o enunciados.
		Reconoce contenidos valorativos presentes en un texto.
		Reconoce las estrategias discursivas en un texto.
		Contextualiza adecuadamente un texto o la información contenida en éste.
Competencias ciudadanas	I: Comprende qué es la constitución política de Colombia y sus principios fundamentales.	Conoce las características básicas de la constitución.
		Reconoce que la Constitución promueve la diversidad étnica y cultural del país, y que es deber del Estado protegerla.
		Comprende que Colombia es un Estado social de derecho e identifica sus características.
	II: Conoce los derechos y deberes que la Constitución consagra.	Conoce los derechos fundamentales de los individuos.
		Reconoce situaciones en las que se protegen o vulneran los derechos sociales, económicos y culturales consagrados en la Constitución.

		Conoce los derechos colectivos y del ambiente consagrados en la Constitución.
		Conoce que la Constitución consagra deberes de los ciudadanos.
	III: Conoce la organización del Estado de acuerdo con la Constitución.	Conoce las funciones y alcances de las ramas del poder y de los organismos de control.
		Conoce los mecanismos que los ciudadanos tienen a su disposición para participar activamente en la democracia y para garantizar el respeto de sus derechos.
	IV: Analiza y evalúa la pertenencia y solidez de enunciados discursos; y reconoce la existencia de diferentes perspectivas en situaciones en donde interactúan diferentes partes.	Devela prejuicios e intenciones en enunciados o argumentos.
		Valora la solidez y pertinencia de enunciados o argumentos.
		En situaciones de interacción, reconoce las posiciones o intereses de las partes presentes y puede identificar un conflicto.
		Reconoce que las cosmovisiones, ideologías y roles sociales, determinan diferentes argumentos, posiciones y conductas.
	V: Analiza las diferentes perspectivas presentes en situaciones en donde interactúan diferentes partes; y comprende que los problemas y soluciones involucran distintas dimensiones y reconoce relaciones entre éstas.	Compara las perspectivas de diferentes actores.
		Establece relaciones entre las perspectivas de los individuos presentes en un conflicto y propuestas de solución.
		Establece que hay entre dimensiones presentes en una situación problemática.
		Analiza los efectos en distintas dimensiones que tendría una solución.
Inglés	I: El estudiante no es capaz de usar el idioma en ninguna situación práctica cotidiana.	El estudiante no supera las preguntas de menor complejidad.
	II: El estudiante es capaz de entender de forma general lecturas básicas, no es capaz de redactar el idioma, entiende las palabras más usuales y puede hacerse entender en situaciones cotidianas.	Es capaz de comprender y utilizar expresiones cotidianas de uso muy frecuente, así como frases sencillas destinadas a satisfacer necesidades de tipo inmediato.
		Puede presentarse él mismo y ante otros, pedir y dar información personal básica sobre su domicilio, sus pertenencias y las personas que conoce.
		Puede relacionarse de forma elementar siempre que su interlocutor hable despacio y con claridad y esté dispuesto a cooperar.
	III: El estudiante puede leer un texto con baja complejidad, necesita poca ayuda para redactar textos de baja complejidad, conoce el tema de una conversación si se habla despacio.	El estudiante es capaz de comprender frases y expresiones de uso frecuente relacionadas con áreas de experiencia especialmente relevan-tes (información básica sobre él mismo y su familia, compras, lugares de interés, ocupaciones, etc.).
		Sabe comunicarse a la hora de llevar a cabo tareas simples y cotidianas que no requieran más que intercambios sencillos y directos de información sobre cuestiones conocidas o habituales.
		Sabe describir en términos sencillos aspectos de su pasado y su entorno, así como cuestiones relacionadas con sus necesidades inmediatas.
	IV: Lee textos sin dificultades importantes, redacta textos de mediana dificultad, puede entender reuniones de rutina, puede contribuir	El estudiante es capaz de comprender los puntos principales de textos claros y en lengua estándar, si tratan cuestiones conocidas, ya sea en situaciones de trabajo, de estudio o de ocio
		Sabe desenvolverse en la mayoría de las situaciones que pueden surgir durante un viaje por zonas donde se utiliza la lengua.
		Es capaz de producir textos sencillos y coherentes sobre temas que le son familiares o en los que tiene un interés personal.

	a reuniones y no puede realizar negociaciones.	Puede describir experiencias, acontecimientos, deseos y aspiraciones, así como justificar brevemente sus opiniones o explicar sus planes
	V: Puede leer y entender textos completamente, redacta correctamente escritos, puede argumentar fácilmente.	El estudiante es capaz de entender las ideas principales de textos complejos que traten de temas concretos abstractos, incluso si son de carácter técnico, siempre que estén dentro de su especialización
		Puede relacionarse con hablantes nativos con un grado suficiente de fluidez y naturalidad, de modo que la comunicación se realice sin esfuerzo por ninguno de los interlocutores.
		Puede producir textos claros y detallados en torno a temas diversos, así como defender un punto de vista sobre temas generales indicando los pros y los contras de las distintas opciones.

Fuente: Tomado de los repositorios del ICFES (2020)

3.3. Actores del estudio

Si bien dentro de este estudio se ha establecido que los actores principales son el conjunto de universidades que realizaron la prueba SABERPRO, es necesario establecer cómo podemos convertir esos resultados obtenidos de la base datos a los insumos para la evaluación de la calidad educativa. Por tanto, es necesario determinar las dimensiones de calidad para este servicio educativo, por lo que para este estudio se propusieron como dimensiones, cada competencia evaluada en la prueba SABERPRO: Racionamiento Cuantitativo (RC), Lectura Crítica (LC), Competencias Ciudadanas (CC), Comunicación escrita (CE) e inglés (ING). Por otra parte, se realizó un análisis exploratorio de los datos donde se buscó el menor y mayor resultado promedio obtenido en cada competencia, luego se halló la amplitud para cada nivel de desempeño existente, lo que se videncia en la columna Ancho de nivel en la Tabla 4, donde finalmente, se establecieron los niveles conformes y no conformes que permitirían establecer las oportunidades de error más adelante para el cálculo de las métricas Seis Sigma. Cabe resaltar que para establecer los niveles de conformidad y no conformidad, se tomó la información provista en la guía de orientación de las pruebas SABERPRO del ICFES (Icfes, 2019).

Tabla 4. Información de la configuración de los niveles de las competencias.

Competencia	Promedio menor	Promedio mayor	Ancho de nivel	Número de niveles	Niveles no conformes	Niveles conformes
RC	20,67	95,29	33,33	3	I, II	III
ING	20,00	93,19	20	5	I, II, III	IV, V
LC	25,13	85,48	33,33	3	I, II	III
CC	17,63	85,00	20	5	I, II, III	IV, V
CE	12,33	92,00	12,5	8	I, II, III, IV, V	VI, VII, VII

Fuente: Elaboración propia.

En la Tabla 4 se muestra para cada competencia el menor y mayor puntaje promedio en las pruebas SABERPRO, también posee el ancho de cada nivel, la cantidad de niveles conformes, la cantidad de niveles no conformes y, finalmente, el número de niveles. Por ejemplo, en la competencia de razonamiento cuantitativo (RC), el menor puntaje promedio que posee una universidad es 20,67, en contraste, el mayor puntaje promedio que posee una universidad es 95,29; por otro lado, para esta misma competencia el ancho de cada nivel es 33,33 y posee 3 niveles, es decir, el primer nivel (I) va desde 0 hasta 33,33, el segundo nivel (II) va desde 33,33 hasta 66,66 y, finalmente, el tercer nivel (III) va desde

66,66 hasta 100. Ya estipulado los niveles no conformes para cada dimensión de la calidad evaluativa, se procede a realizar la aplicación de las métricas del Seis Sigma.

4. Resultados

Tras definir la metodología, el paso a paso que se debe seguir y el grupo de estudio, se articulan los conceptos inherentes al modelo con el objetivo de la investigación. Para lo anterior, se contextualizan dichos conceptos relacionando cada métrica de evaluación del modelo Seis Sigma con el contexto educativo (Tabla 6). Previamente, se definen los criterios para la evaluación del desempeño del servicio de calidad en esta investigación (Tabla 5).

Tabla 5. Descripción del desempeño con relación al Nivel Sigma y Yield para las dimensiones a evaluar.

Desempeño	Nivel Sigma	Yield
Deficiente	$Z < 2$	$Y < 69{,}1\%$
Aceptable	$2 \leq Z \leq 3$	$69{,}1\% \leq Y \leq 93{,}3\%$
Bueno	$3 \leq Z \leq 4$	$93{,}3\% \leq Y \leq 99{,}4\%$
Excelente	$Z > 4$	$Y \geq 99{,}4\%$

Fuente: Adaptado de Evaluación de la calidad del servicio por medio de Seis Sigma en un centro de atención documental en una universidad (Delahoz-Domínguez, Fontalvo & Fontalvo, 2020).

Por otro lado, en las de las métricas de Seis Sigma (Tabla 6), se encuentran cinco conceptos asociados a las métricas (Schroeder et al., 2008): U, O, Y, n y DPMO. Así, el parámetro U corresponde a la población total del estudio, en el contexto de la investigación son el total de universidades. El parámetro O está asociado a las oportunidades de error encontradas en las competencias evaluadas en la prueba SABERPRO, esto indica las veces que un estudiante puede fallar; en el caso de este trabajo esta oportunidad de error depende de los niveles que son establecidos como no conformes (Tabla 4). Por su parte, el parámetro n corresponde al total de universidades del estudio que son no conformes. Para el desempeño de la universidad (Y), enmarcado en un rango de 0% y 100%, se toma como referencias los valores establecidos en la Tabla 5. Finalmente, los Defectos Por Millón de Oportunidades (DPMO) son el número de defectos observados extrapolados a cada millón de oportunidades de defectos (Felizzola & Luna, 2014).

Tabla 6. Relación cuantitativa de los diferentes conceptos del Seis Sigma en las variables del estudio.

Métricas	Definición en el estudio
U	Universidades evaluadas (Pruebas evaluadas)
O	Oportunidad de error
n	Resultados insatisfactorios (Para cada competencia)
Y	Desempeño de las Universidades Evaluadas
DPMO	Métrica de defectos por millón de oportunidades

Fuente: Adaptado de Evaluación de la calidad del servicio por medio de Seis Sigma en un centro de atención documental en una universidad (Delahoz-Domínguez, Fontalvo & Fontalvo, 2020).

Consecuentemente, en las siguientes tablas se evidencia la aplicación de las métricas Seis Sigma y sus respectivos resultados. Como se ha explicado previamente, las dimensiones a evaluar en este estudio son las competencias evaluadas en las pruebas SABERPRO; dichas competencias genéricas son el insumo para la evaluación de la calidad de la eficiencia educativa en las instituciones de educación superior. Ahora bien, en la Tabla 7 se observan las métricas n, U y O para cada dimensión. Para el Razonamiento Cuantitativo (RC) se obtuvieron 50 resultados insatisfactorios, lo que indica que, en el total de resultados de las 128 universidades el 39,06% se encontraban dentro de los dos niveles no conformes en las oportunidades de error para esta dimensión. Por otra parte, para la dimensión de Lectura Crítica (LC) se obtuvieron 100 resultados insatisfactorios, representando que el 78,12% de las universidades tuvieron resultados no conformes. En la competencia de inglés (ING), se obtuvieron 69 resultados insatisfactorios, indicando que un 53,90% de universidades tuvieron resultados no conformes. Para la dimensión de Comunicación Escrita (CE) el 79,68% de las universidades tuvieron resultados no conformes. Para la dimensión de Competencias Ciudadanas (CC) se evidenciaron 91 resultados insatisfactorios, representando un 71,09% de universidades referenciadas en los tres niveles no conformes inherentes a las oportunidades de error para esta dimensión.

Tabla 7. Resultado de la evaluación cuantitativa al servicio educativo por parte de la universidad por medio de las competencias evaluadas en las pruebas Saber PRO.

Dimensión Evaluada	Resultados Insatisfactorios (n)	Universidades evaluadas (U)	Oportunidad de Error (O)
RC	50	128	2
LC	100	128	2
ING	69	128	3
CE	102	128	3
CC	91	128	3

Fuente: Elaboración propia.

Ahora bien, tras obtener los resultados de la evaluación cuantitativa del servicio educativo por parte de todas las universidades en el marco de las competencias de la prueba SABERPRO, en la Tabla 8 se evidencia la estimación objetiva del desempeño académico las instituciones según las métricas Seis Sigma. Para la dimensión Razonamiento cuantitativo (RC) se evidencia un nivel Sigma (Z)= 2,35 y un Yield (Y)=80,47%, los cuales dentro de los criterios de evaluación establecidos en la Tabla 5 la clasifican como Aceptable. Para la dimensión de Lectura Crítica (LC) se evidencia un nivel Sigma Z=1,77 y un Yield Y=60,94%, estableciéndose en la categoría Deficiente. Para la dimensión de Inglés (ING) se evidencia un nivel Sigma Z=2,41 y un Yield Y=82,04%, estableciéndose en la categoría Aceptable. Por otra parte, para la dimensión Competencias Ciudadanas (CC) se evidencia un nivel Sigma Z=2,21 y un Yield Y=76,30%, representando un desempeño Aceptable. Finalmente, para la competencia Comunicación Escrita (CE) se evidencia un nivel Sigma Z=2,12 y un Yield= 73,44%, lo cual clasifica como Aceptable.

En general, el Yield promedio de las competencias básicas evaluadas en las pruebas SABERPRO aplicadas a las instituciones de educación fue de 74,64%, lo que dentro de los criterios establecidos en la Tabla 5 es considerado como Aceptable. Consecuentemente, es importante resaltar que la competencia Lectura Crítica, es la competencia con el más bajo desempeño del conjunto competencias evaluadas en las universidades, por lo tanto, los planes de mejora resultantes del Seis Sigma deben incorporar estrategias dirigidas a reducir la brecha en esta competencia, generando oportunidades para mejorar el desempeño global de las instituciones evaluadas.

Tabla 8. Resultados de la aplicación de las métricas Seis Sigma a las dimensiones evaluadas en este estudio.

Métricas Seis Sigma para las dimensiones					
Métricas	**RC**	**LC**	**ING**	**CC**	**CE**
DPMO	195312,5	390625	179687,5	236979,17	265625
Nivel sigma Z	2,3585	1,7777	2,4166	2,2161	2,1261
Yield	0,8047	0,6094	0,8204	0,7630	0,7344
Yield Promedio	0,7464				

Fuente: Elaboración propia.

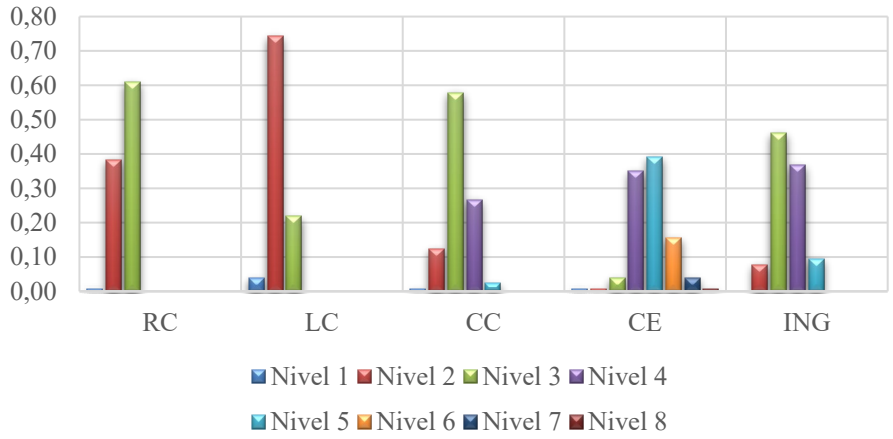
4.1. Análisis específicos

En consecuencia, además de la evaluación realizada en este trabajo, es pertinente analizar el contexto de los resultados del estudio, lo que permite relacionar los niveles de desempeño con las características particulares de las universidades. Como se ha establecido desde el inicio, nuestro objeto de estudio son las universidades evaluadas en las pruebas SABERPRO, por lo que las estadísticas presentadas a continuación son todas en relación las universidades y sus respectivos resultados.

En la Figura 2 se encuentra en el eje horizontal todos los niveles desempeño para cada competencia evaluada y en el eje vertical el porcentaje correspondiente de las universidades que se encuentran en dichos niveles para cada competencia. Por lo tanto, se puede observar que:

- Aproximadamente el 61% de las universidades son conformes y el 39% son no conformes de acuerdo con el nivel presentado en la Tabla 4 para la competencia de Razonamiento Cuantitativo (RC).
- La competencia de Lectura Critica (LC) tiene dentro del grupo de conformes el 22% y el 78% corresponden a los no conformes.
- Competencias Ciudadanas (CC) posee en su grupo de conformes aproximadamente del 29% y en el grupo de no conformes el 71%.
- La competencia de Comunicación Escrita (CE) en su grupo de conformes tiene el 21% del total de las universidades y el 79% de las universidades para esta competencia son no conformes.
- La competencia de Inglés (ING) tiene 46% de universidades conformes y 54% de universidades no conformes.

Figura 2. Distribución de la población del estudio.

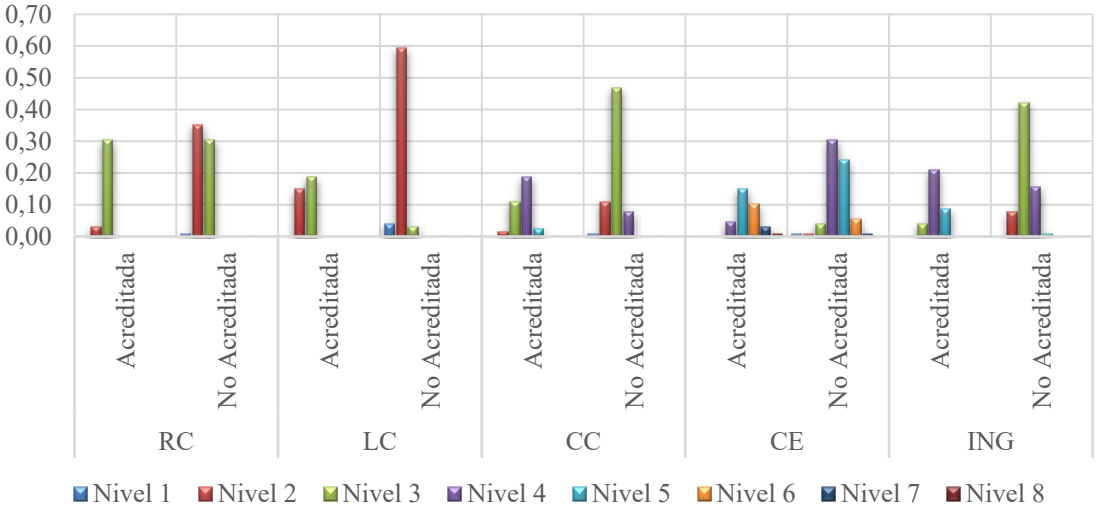


Fuente: Elaboración propia.

Por otro lado, en la Figura 3 se relacionan los niveles de desempeño en el examen SABERPRO con la posesión de una certificación de calidad. Cada competencia se divide en dos grupos: universidades acreditadas (34% del estudio) y no acreditadas (66% del estudio) y a su vez estos grupos se subdividen en conformes y no conformes. Consecuentemente, se procede a describir por competencias académicas la distribución en los grupos que se van a categorizar como: universidad acreditada y no-conforme, universidad acreditada y conforme, universidad no-acreditada y conforme y, por último, universidad no-acreditada y no-conforme.

- Para la competencia Razonamiento Cuantitativo las universidades acreditadas se dividen en 9% no conformes y 91% conformes; en contraste, las universidades no-acreditadas se distribuyen en 54% no conformes y 46% conformes.
- Para la competencia de lectura crítica las universidades acreditadas se distribuyen en 44% no conformes y 56% conformes; por su parte, las universidades no acreditadas se dividen en 95% no conformes y 5% conformes.
- Las universidades acreditadas para Competencias Ciudadanas se dividen en 37% no conformes y 63% conformes; por otro lado, las universidades no acreditadas se dividen en 88% no conformes y 12% conformes.
- En el caso de las universidades acreditadas para la competencia de Comunicación Escrita se dividen en 58% no conformes y 42% conformes; en cuanto a las universidades no acreditadas, el 91% corresponde a no conformes y el 9% corresponde a conformes.
- Para la competencia de Inglés, las universidades acreditadas se dividen en 12% no conformes y 88% conformes; en contraste, las universidades no acreditadas se dividen en 75% no conformes y 25% conformes.

Figura 3. Proporción de acreditación de las universidades en el estudio.



Fuente: Elaboración propia.

Consecuentemente, complementando el análisis de la Figura 3, se presenta la Tabla 9 que contiene los promedios por cada competencia para el total de universidades acreditadas y no acreditadas. Como se puede observar, los promedios más altos los poseen las universidades acreditadas en todas las competencias, siendo Razonamiento Cuantitativo e Inglés aquellas competencias que tienen mayor promedio en el grupo de universidades acreditadas; en el caso de las universidades no acreditadas aparecen estas mismas competencias.

Tabla 9. Promedio de las competencias por acreditación.

Valores	Acreditada	No Acreditada
RC	81,83	65,26
LC	67,02	48,98
ING	72,40	53,16
CE	61,42	49,39
CC	63,54	47,58

Fuente: Elaboración propia.

En cuanto a las competencias con menor promedio en el grupo de universidades acreditadas son Comunicación Escrita y Competencias Ciudadanas; en el caso del grupo de universidades no acreditadas los desempeños más bajos corresponden a las competencias de Lectura Crítica y nuevamente Competencias Ciudadanas.

En la Tabla 10 se evidencian los promedios de las competencias por grupos conformes y no conforme del total de universidades del estudio. En el grupo de universidades conformes las competencias de Razonamiento Cuantitativo y Lectura Crítica son las que tienen mayor promedio; en el caso de las universidades del grupo no conforme aparecen nuevamente las competencias Razonamiento Cuantitativo y Lectura Crítica. Por su parte, en cuanto a los desempeños más bajos dentro del grupo conforme se encuentra las competencias de Comunicación Escrita y Competencias Ciudadanas; por su parte, en el grupo de no conformes las competencias con menor desempeño corresponden a Competencias Ciudadanas e Inglés.

Tabla 10. Promedio de las competencias por conformidad.

Valores	Conforme	No conforme
RC	79,43	57,41
LC	74,65	49,55
ING	72,68	48,46
CE	69,83	49,25
CC	69,66	46,15

Fuente: Elaboración propia.

A continuación, se obtuvieron los promedios por cada competencia considerando la categoría de acreditación de la universidad y nivel de conformidad. En la Tabla 11 se evidencia cómo las competencias con mayores puntajes son Razonamiento Cuantitativo y Lectura crítica; en contraste, las competencias con menor desempeño son Comunicación Escrita y Competencias Ciudadanas. Por su parte, las universidades categorizadas como acreditadas y no conformes, presentan los mayores resultados promedios en las competencias Razonamiento Cuantitativo y Lectura Crítica, y los más bajos para Inglés y Competencias Ciudadanas. Por otro lado, las universidades categorizadas como no acreditadas y conformes muestran que los mayores promedios los poseen las competencias de Razonamiento Cuantitativo y Lectura Crítica; por el contrario, las puntuaciones más bajas pertenecen a las competencias de Comunicación Escrita y Competencias Ciudadanas. Finalmente, en las universidades categorizadas como no acreditadas y no conformes, los promedios más altos son de las competencias Razonamiento Cuantitativo e Inglés; en contraste, los desempeños más bajos los poseen Competencias Ciudadanas y Comunicación Escrita.

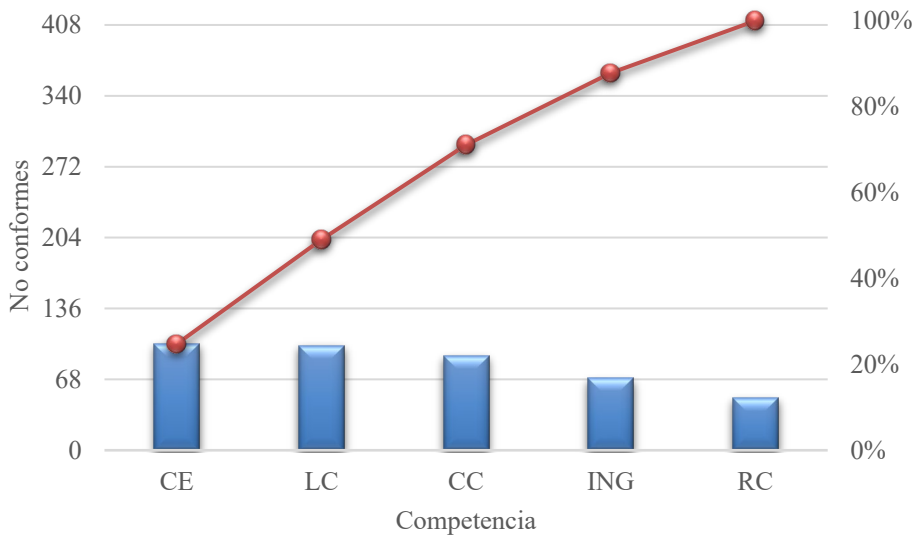
Tabla 11. Promedio de las competencias por conformidad y acreditación.

Competencia	Conformidad	Acreditada	No Acreditada
RC	Conforme	83,95	74,90
	No Conforme	61,11	57,09
LC	Conforme	75,08	72,03
	No Conforme	56,84	47,84
ING	Conforme	74,87	68,73
	No Conforme	53,61	48,06
CE	Conforme	70,54	68,23
	No Conforme	54,86	47,43
CC	Conforme	70,54	67,27
	No Conforme	51,72	44,96

Fuente: Elaboración propia.

Finalmente, se presenta un análisis en el diagrama de Pareto (Figura 4). Este diagrama es una de las siete herramientas fundamentales de calidad usada para categorizar elementos de manera descendente dada su frecuencia. Su funcionalidad permite identificar aspectos críticos los cuales al aplicarle procesos de mejoramiento impactarán más en los resultados globales. En la Figura 4 se evidencia que el 71% de los resultados no conformes están concentrados en las tres primeras competencias que son Comunicación Escrita (CE), Lectura Crítica (LC) y Competencias Ciudadanas (CC). Por lo tanto, eso indica que los esfuerzos por mejorar los resultados de las evaluaciones de SABERPRO y consecuentemente la eficiencia de las instituciones de educación superior, deben estar enfocados al refuerzo de estas tres competencias.

Figura 4. Análisis de causas mediante el diagrama de Pareto.



Fuente: Elaboración propia.

5. Discusión

El aporte significativo de esta investigación es la evaluación de la calidad educativa con la herramienta Seis Sigma. Esta herramienta ha sido utilizada extensivamente en el sector industrial y de manufactura, y además últimamente se evidencian implementaciones en el sector financiero. Por lo tanto, existe un gran potencial para su desarrollo en el sector de la educación, por lo que en esta investigación presenta una estructura ordenada y secuencial para estimar el desempeño de organizaciones educativas bajo la metodología Seis Sigma. Así mismo, se resalta en esta investigación el hecho de evaluar la calidad educativa utilizando la información objetiva correspondiente a los resultados de las pruebas estandarizadas (SABERPRO), que son utilizadas para monitorear los niveles de calidad y la solidez de las bases de conocimiento de los futuros profesionales en Colombia, a través de las competencias académicas genéricas (competencias utilizadas en este estudio como dimensiones de calidad).

Para la aplicación del enfoque Seis Sigma propuesto en la educación se utilizaron datos específicos de los estudios de ingeniería. Sin embargo, la estructura propuesta es replicable y reproducible a cualquier proceso educativo en los que se genere evidencia objetiva del desempeño académico longitudinal a través de exámenes estandarizados. Por lo tanto, la estructura propuesta se plantea como una alternativa para evaluar, monitorear y caracterizar instituciones y sistemas educativos en general.

Por otra parte, en la investigación realizada por Antony et al. (2012) se expone la importancia de la aplicación de la metodología Seis Sigma para la mejora de la eficiencia y efectividad en las universidades, resaltando los retos y barreras que hay detrás de la implementación de esta metodología en el sector de las instituciones de educación superior.

En la investigación desarrollada por Antony (2014) se revelan los aspectos de preparación para la introducción y desarrollo exitoso de la herramienta Seis Sigma e incluso Lean Seis Sigma dentro del contexto de las instituciones de educación superior. Sin embargo, este autor recomienda que es importante comenzar con esta iniciativa afrontando los problemas en los procesos administrativos existentes antes de pasar a realizar la inversión a grandes proyectos de orientación estratégica para la institución. Por lo tanto, la estructura propuesta en la presente investigación es una aproximación global para sensibilizar a las universidades en las técnicas de mejoramiento y medición objetiva que aporta Seis Sigma como herramienta organizacional.

En un enfoque similar al de la presente investigación, en el trabajo de Navas et al. (2016) se demuestra que es pertinente la aplicación del Seis Sigma en la evaluación del desempeño académico de las universidades consideradas en su estudio. Navas aplica la metodología DMAIC (Define, Measure, Analyze, Improve, Control), donde finalmente propone agrupar a los estudiantes por su desempeño académico para aumentar el porcentaje de aprobados en la educación de ingeniería, eliminando las causas de fallas. En este orden de ideas, los resultados obtenidos por nuestra investigación también permitirán perfilar los estudiantes según su desempeño, además de proporcionar las métricas estandarizadas para monitorear su desempeño futuro.

En el estudio de Bumjaid y Malik (2019) se resaltan los modelos que pueden ser utilizados para la mejora de la calidad en las instituciones de educación superior aplicando los conceptos del Seis Sigma. Los principios de este último permiten perfilar a una institución de educación superior al cumplimiento de la misión e incluso acercarse a las acreditaciones de calidad por medio de la reducción de no conformidades y la mejora de sus procesos. Así, nuestra investigación soporta el criterio de identificación de conformidades, generando una estructura estandarizada para caracterizar el proceso educativo en función de categorías de conformidad según el desempeño académico de los estudiantes.

Por otra parte, en el estudio de Ramanan y Kumar (2013) se resalta la efectividad de la herramienta Seis Sigma para el aumento del desempeño en las organizaciones. Sin embargo, en el contexto educativo, el cliente y el producto son fenómenos complejos para describir a diferencia de una industria habitual. La cuestión con la educación superior es que no solo afecta a los proveedores sino

también a la sociedad a largo plazo, por lo que en su estudio se propone utilizar la metodología DMAIC para impactar la calidad de la educación en ingeniería a un nivel micro de la institución aprovechando el éxito de su aplicación en problemas complejos en diferentes industrias. Contrario a esta investigación, el enfoque Seis Sigma utilizado por nosotros está diseñado para la estimación macro del desempeño de los sistemas educativos; sin embargo, los resultados permiten adoptar decisiones comparativas para implementar mejores prácticas de otras instituciones exitosas.

6. Conclusión

En el presente estudio se evidencia la relevancia de implementar un enfoque de mejora basado en Seis Sigma para articular conceptos de calidad educativa mediante métricas objetivas y estandarizadas. La propuesta evalúa el rendimiento de las universidades a través del análisis exhaustivo de los datos generados en los exámenes estandarizados de los estudiantes al finalizar su etapa de educación universitaria.

La implementación de la metodología usando los resultados de las evaluaciones de los programas de ingeniería en Colombia, permitió establecer las métricas Seis Sigma globales del sistema, con un nivel Sigma de 2,17 y un Rendimiento (Y) del 75%. Adicionalmente, la investigación permite realizar un análisis comparativo a nivel general de referencias (benchmarking), porque cada universidad puede saber sobre cuáles competencias debe dirigir sus esfuerzos para alcanzar el nivel de otra. También, es posible observar cómo impacta sobre el nivel Sigma algunas características o atributos de la universidad como la acreditación, certificaciones, investigación, entre otras. Cabe resaltar que en esta investigación se realiza el análisis de la acreditación institucional, lo que deja como evidencia que la acreditación es un factor crucial para aumentar el desempeño individual de los estudiantes y consecuentemente, el desempeño de las instituciones de educación superior.

Ahora bien, desde el punto de vista estratégico, la investigación ofrece una visión global del desempeño de las instituciones que componen a un sistema educativo. Además, permite la comparación objetiva de instituciones a través de las métricas estandarizadas del nivel Sigma (Z), Rendimiento (Y) y Defecto por Millón de Oportunidades. Finalmente, como aporte significativo de la investigación se conceptualizan las dimensiones de calidad en relación con las competencias académicas que un estudiante debe desarrollar al finalizar su educación como ingeniero, lo que en esencia permite la valoración cuantitativa y objetiva de los programas universitarios estudiados.

Referencias

Antony, J. (2014). Readiness factors for the Lean Six Sigma journey in the higher education sector. *International Journal of Productivity and Performance Management*, *63*(2), 257-264. https://doi.org/10.1108/IJPPM-04-2013-0077

Antony, J., Krishan, N., Cullen, D., & Kumar, M. (2012). Lean Six Sigma for higher education institutions (HEIs): Challenges, barriers, success factors, tools/techniques. *International Journal of Productivity and Performance Management*, *61*(8), 940-948. https://doi.org/10.1108/17410401211277165

Bumjaid, S.E., & Malik, H.A.M. (2019). *The Effect of Implementing of Six Sigma Approach in Improving the Quality of Higher Education Institutions in Bahrain* (SSRN Scholarly Paper ID 3540883). Social Science Research Network. https://papers.ssrn.com/abstract=3540883

Delahoz-Domínguez, E., Guillen-Ibarra, S., & Fontalvo-Herrera, T. (2020). Análisis de la acreditación de calidad en programas de ingeniería industrial y los resultados en las pruebas nacionales

estandarizadas, en Colombia. *Formación universitaria*, *13*(1), 127-134. https://doi.org/10.4067/S0718-50062020000100127

Delahoz-Domínguez, E.J., Fontalvo, T.J., & Fontalvo, O.M. (2020). Evaluación de la calidad del servicio por medio de seis sigma en un centro de atención documental en una universidad. *Formación universitaria*, *13*(2), 93-102. https://doi.org/10.4067/S0718-50062020000200093

Delahoz-Domínguez, E., Zuluaga, R., & Fontalvo-Herrera, T. (2020). Dataset of academic performance evolution for engineering students. *Data in Brief*, *30*, 105537. https://doi.org/10.1016/j.dib.2020.105537

Felizzola, H., & Luna, C. (2014). Lean Six Sigma en pequeñas y medianas empresas: Un enfoque metodológico. *Ingeniare. Revista Chilena de Ingeniería*, *22*(2), 263-277. https://doi.org/10.4067/S0718-33052014000200012

Gamal, M. (2011). Reconstructing Six Sigma barriers in manufacturing and service organizations: The effects of organizational parameters. *International Journal of Quality & Reliability Management*, *28*(5), 519-541. https://doi.org/10.1108/02656711111132562

Hien, N.M. (2014). *A Study on Evaluation of E-Government Service Quality*, *8*(1), 4, 16-19.

Hsieh, Y.-J., Huang, L.-Y., & Wang, C.-T. (2012). A framework for the selection of Six Sigma projects in services: Case studies of banking and health care services in Taiwan. *Service Business*, *6*(2), 243-264. https://doi.org/10.1007/s11628-012-0134-1

ICFES (2019). *Guia de orientacion modulos de competencias genericas saber-pro 2019*. ICFES. https://www.icfes.gov.co/documents/20143/1518930

ICFES (2020). *Bases de datos-Portal Icfes*. Bases de datos, Instituto Colombiano para la Evaluación de la Educación - ICFES. https://www.icfes.gov.co/web/guest/investigadores-y-estudiantes-posgrado/acceso-a-bases-de-datos#Acceso%20a%20bases%20de%20datos%20y%20diccionarios

Ishak, A., Siregar, K., Asfriyati, & Naibaho, H. (2019). Quality Control with Six Sigma DMAIC and Grey Failure Mode Effect Anaysis (FMEA): A Review. *IOP Conference Series: Materials Science and Engineering*, *505*, 012057. https://doi.org/10.1088/1757-899X/505/1/012057

Lee, H., & Kim, C. (2014). Benchmarking of service quality with data envelopment analysis. *Expert Systems with Applications*, *41*(8), 3761-3768. https://doi.org/10.1016/j.eswa.2013.12.008

LeMahieu, P.G., Nordstrum, L.E., & Cudney, E.A. (2017). Six Sigma in education. *Quality Assurance in Education*, *25*(1), 91-108. https://doi.org/10.1108/QAE-12-2016-0082

Lima, P.N.D., Dresch, A., & Lacerda, D.P. (2019). Do socio-economic contextual factors influence SMEs' service quality A cross-sector and cross-city SERVPERF analysis. *International Journal of Business Performance Management*, *20*(3), 195-211. https://doi.org/10.1504/IJBPM.2019.101998

Lu, J., Laux, C., & Antony, J. (2017). Lean Six Sigma leadership in higher education institutions. *International Journal of Productivity and Performance Management*, *66*(5), 638-650. https://doi.org/10.1108/IJPPM-09-2016-0195

Maguad, B. A., & Krone, R. M. (2012). *Managing for Quality in Higher Education*. Bookboon.

Nadeau, S. (2017). *Lean, Six Sigma and Lean Six Sigma in Higher Education: A Review of Experiences around the World*, 13, 591-603. https://doi.org/10.4236/aji.

Navas, R.K.B., Akash, R.P., Sathish, G., & Azharudeen, J.M. (2016). Six Sigma in Education: Examination Result Analysis Using Six Sigma - A Case Study. *2016 IEEE 4th International Conference on MOOCs, Innovation and Technology in Education (MITE)*, 245-250. https://doi.org/10.1109/MITE.2016.056

Pineda, P., & Celis, J. (2017). ¿Hacia la universidad corporativa? Reformas basadas en el mercado e isomorfismo institucional en Colombia. *Education Policy Analysis Archives*, *25*, 71. https://doi.org/10.14507/epaa.25.2837

Ramanan, L., & Kumar, D.M. (2013). SIX SIGMA - DMAIC Framework for Enhancing Quality in Engineering Educational Institutions. *Six Sigma, 3*(1), 36-40.

Schroeder, R.G., Linderman, K., Liedtke, C., & Choo, A.S. (2008). Six Sigma: Definition and underlying theory⋆. *Journal of Operations Management*, *26*(4), 536-554. https://doi.org/10.1016/j.jom.2007.06.007

Shokri, A. (2014). Six Sigma in Supply Chain. En U. Ramanathan & R. Ramanathan (Eds.), *Supply Chain Strategies, Issues and Models* (pp. 63-98). Springer London. https://doi.org/10.1007/978-1-4471-5352-8_4

Song, H.G., & Lim, S.U. (2015). Assessing pet industry in Korea using service quality improvement gap model. *International Journal of Technology, Policy and Management*, *15*(1), 2-20. https://doi.org/10.1504/IJTPM.2015.067791

Subbarayalu, A.V., & Al Kuwaiti, A. (2017). Development of a six sigma rating scale for measuring the quality of work life of teaching staff working in Saudi Universities. *International Journal for Quality Research, 11*(2), 397-418. https://doi.org/10.18421/IJQR11.02-10

Suman, G., & Prajapati, D.R. (2018). Statistical analysis of the researches carried out on Lean and Six Sigma applications in healthcare industry. *International Journal of Quality Engineering and Technology*, *7*(1), 1. https://doi.org/10.1504/IJQET.2018.094667

Sunder M.V., & Antony, J. (2018). A conceptual Lean Six Sigma framework for quality excellence in higher education institutions. *International Journal of Quality & Reliability Management*, *35*(4), 857-874. https://doi.org/10.1108/IJQRM-01-2017-0002

Surange, V.G. (2015). Implementation of Six Sigma to Reduce Cost of Quality: A Case Study of Automobile Sector. *Journal of Failure Analysis and Prevention*, *15*(2), 282-294. https://doi.org/10.1007/s11668-015-9927-6

Suresh, K.M., Asokan, P., & Vinodh, S. (2016). Application of design for Six Sigma methodology to an automotive component. *International Journal of Six Sigma and Competitive Advantage*, *10*(1), 1-23. https://doi.org/10.1504/IJSSCA.2016.080446

Svensson, C., Antony, J., Ba-Essa, M., Bakhsh, M., & Albliwi, S. (2015). A Lean Six Sigma program in higher education. *International Journal of Quality & Reliability Management*, *32*(9), 951-969. https://doi.org/10.1108/IJQRM-09-2014-0141

Torres, M., & Vásquez, C.L. (2018). Modelos de evaluación de la calidad del servicio: caracterización y análisis. *Revista Científica Compendium, 18*(35), 57-76.

Visbal-Cadavid, D.A., Martínez-Gómez, M., & Escorcia-Caballero, R. (2020). Exploring University Performance through Multiple Factor Analysis: A Case Study. *Sustainability*, *12*(3), 1-23. https://doi.org/10.3390/su12030924

Zambrano, N., & Alá, A. (2014). *Implementación de la metodología seis sigma para el mejoramiento continuo del proceso de venta de servicios tecnológicos y comunicacionales en Ecuadortelecom S.A.* http://dspace.ups.edu.ec/handle/123456789/6863

Zare, Y. (2011). Six-Sigma: Methodology, tools and its future. *Assembly Automation*, *31*(1), 79-88. https://doi.org/10.1108/01445151111104209

REVISTA DE MÉTODOS CUANTITATIVOS PARA LA ECONOMÍA Y LA EMPRESA (33). Páginas 408-438.
Junio de 2022. ISSN: 1886-516X. D.L: SE-2927-06.
www.upo.es/revistas/index.php/RevMetCuant/article/view/5105

Factores asociados al emprendimiento de migrantes colombianos retornados: una aproximación Bayesiana

TOVAR CUEVAS, JOSÉ RAFAEL
Universidad del Valle (Santiago de Cali, Colombia)
Correo electrónico: jose.r.tovar@correounivalle.edu.co

ZÚÑIGA MARTÍNEZ, CLAUDIA LORENA
Pontificia Universidad Javeriana (Santiago de Cali, Colombia)
Correo electrónico: claurena_99@yahoo.com

TOVAR CUEVAS, LUIS MIGUEL
Pontificia Universidad Javeriana (Santiago de Cali, Colombia)
Correo electrónico: ltovar@javerianacali.edu.co

RESUMEN

En este estudio se identifica un conjunto de características asociadas al hecho de que un migrante colombiano retornado se convierta en un emprendedor. El análisis se realizó con los datos recogidos en la encuesta Global Entrepreneurship Monitor (GEM) cuyo formulario fue modificado en el año 2012 (solo por ese año) con un conjunto de preguntas sobre emprendimiento a personas que habían retornado al país después de vivir fuera cierto tiempo. Se realizó la comparación entre las probabilidades de emprendimiento en dos regiones del país, Bogotá la capital, área de mayor desarrollo económico y financiero (n=204) y los departamentos de la Costa Caribe Colombiana, área de menor desarrollo industrial y mayor fortaleza turística (n=203). Los resultados fueron obtenidos utilizando métodos propios del paradigma Bayesiano de la Estadística. Se consideraron nueve distribuciones previas informativas construidas a partir de los datos observados (Empirical Bayes Methods) y se utilizó el factor de Bayes como criterio para seleccionar el modelo con mejor ajuste a los datos. De acuerdo con los resultados, los factores que afectan la probabilidad de que un migrante retornado sea emprendedor difieren entre regiones y están relacionados con la autoconfianza del individuo y su capacidad de prepararse para su inclusión en el sector productivo del país.

Palabras clave: emprendimiento, migración de retorno, inferencia Bayesiana, GEM, métodos empíricos de Bayes.
Clasificación JEL: C11.
MSC2010: 62F15.

Artículo recibido el 3 de julio de 2020 y aceptado el 27 de septiembre de 2021.

Factors associated with the entrepreneurship of returned Colombian migrants: a Bayesian approach

ABSTRACT

In this work, a set of characteristics associated with the fact that a returned Colombian migrant becomes an entrepreneur are identified. A set of data obtained from a modified form developed in 2012 (only for that year) of the Global Entrepreneurship Monitor (GEM) survey, were used in the analyses. The modified form included a set of questions about entrepreneurship to people who had returned to the country after living abroad an amount of time. A comparison was made between the probabilities of entrepreneurship in two regions of the country, Bogotá, the capital and the area with the greatest economic and financial development (n = 204), and the departments of the Colombian Caribbean Coast, an area with less industrial development and greater tourist strength (n = 203). The results were obtained using methods of the Bayesian paradigm of Statistics. Nine informative prior distributions constructed from the observed data (Empirical Bayes Methods) were considered and the Bayes factor was used as a criterion to select the model with the best fit to the data. According to the results, the factors that affect the probability that a returned migrant is an entrepreneur differ between regions and are related to the individual's self-confidence and their ability to prepare for inclusion in the country's productive sector.

Keywords: entrepreneurship, return migration, Bayesian inference, Global Entrepreneurship Monitor (GEM), Empirical Bayes Methods.
JEL classification: C11.
MSC2010: 62F15.

1. Introducción

Los flujos migratorios de colombianos, desde y hacia el exterior, han sido un fenómeno creciente y heterogéneo que es importante conocer y comprender indagando sus causas y efectos, dado que a través de los migrantes los países envían y reciben una gran cantidad de capital intelectual, cultural, social y económico (Mejía, 2010). En el año 2013 Colombia fue clasificado como el país suramericano con el mayor número de emigrantes. Se estimaba que había aproximadamente 4.7 millones de individuos colombianos viviendo en el exterior (OIM, 2013).

Las cifras sobre colombianos retornados son inciertas, pues es un asunto que carece de registros suficientes que permitan hacer seguimiento a los colombianos que retornan al país o a sus acciones previas y/o posteriores a la experiencia migratoria. Sin embargo, algunas estimaciones indican que en el año 2009 por lo menos el 5,5% de los hogares en Colombia contaban con presencia de retornados, siendo esta cifra inferior a la de hogares con emigrantes (OIM, 2010). Dada la dimensión de los flujos migratorios colombianos y del impacto positivo que podría tener la migración de retorno en el desarrollo económico del país, el gobierno colombiano aprobó en el año 2012 la Ley 1565 o Ley de Retorno (Congreso de Colombia, 2012), que promueve el retorno y facilita la integración social, económica y productiva de los migrantes con el objetivo de aprovechar el capital físico, humano y social acumulado durante su estancia en el exterior, para promover proyectos productivos articulados al plan de desarrollo del departamento y/o municipio de reasentamiento.

Otros países suramericanos (Bolivia, Perú, Ecuador y Uruguay) también han diseñado programas y leyes como la de Colombia, en las que se brinda exenciones tributarias a los retornados que ingresen capitales y bienes para ser usados en actividades empresariales. Adicionalmente, algunos países (Ecuador, Uruguay y Colombia) brindan capacitación y asesoría especializada sobre emprendimiento y otorgan capital semilla o líneas de crédito para la puesta en marcha de un negocio (Tovar y Victoria, 2013).

A pesar de los avances en la política migratoria de varios países y al objetivo concreto que algunos países tienen de promover el emprendimiento entre los retornados para facilitar su inserción laboral, son relativamente pocos los estudios en países suramericanos que analizan los factores asociados a la posibilidad de que un retornado sea emprendedor. Considerando esto, el propósito de este trabajo fue establecer cuál es el conjunto de características que están asociadas al hecho de que un migrante retornado sea emprendedor en las regiones con mayor flujo de retornados emprendedores según el estudio *Global Entrepreneurship Monitor* (GEM). El artículo se concentra en el análisis de la información obtenida al aplicar un conjunto de preguntas que se añadieron a la GEM en el año 2012 (por esa única vez). Aun cuando el formulario original de la encuesta incluye preguntas sobre migración en los países, no considera en sus objetivos la migración de retorno; por esta razón, el grupo investigador de la Universidad donde se realizó el estudio, hizo la solicitud ese año de incluir un módulo con algunas pocas preguntas sobre el tema, en la versión del formulario aplicada a la población colombiana.

2. Definiciones importantes y antecedentes

La migración internacional de retorno se entiende, de manera general, como el regreso de un individuo a su país de origen, país de nacionalidad o a su residencia habitual, tras haber pasado un periodo de tiempo en otro país (Cárdenas et al., 2010; Cortizo et al., 2011; Red Europea de Migraciones, 2011). En algunos casos este regreso se asume como parte del proceso migratorio y el tiempo de permanencia en el país de origen y/o destino es temporal o no tiene importancia (OECD, 2008; Pedone & Gil, 2013; Rivera-Sánchez, 2011; United Nations, 1998). En otros casos el regreso al país de origen se entiende como definitivo (Gmelch, 1980; Hercog & Siegel, 2011). La decisión de retorno puede ser voluntaria que se entiende que es autónoma, requiere tiempo y recursos que son asumidos por el migrante y puede estar motivada tanto por aspectos personales como externos. Entre los aspectos personales, se encuentran liberación de deudas, inversión en proyectos productivos, cercanía con la familia, vejez,

oportunidades en los países de origen y logro de objetivos específicos en el extranjero, entre otros. De otro lado, cuando la decisión de retorno es involuntaria, la misma está relacionada principalmente con factores externos al migrante, que conllevan, generalmente, la ejecución inmediata de una resolución determinada por el país de destino, donde la única opción para el migrante es abandonar el país. Se presenta en casos como la deportación, la expulsión del país y la extradición. En la Tabla 1 se resumen algunas de las categorías que son usadas para clasificar los retornos y los autores que las señalan.

Tabla 1. Categorías establecidas para las formas de retorno.

Clasificación	Decisión		Causales		Es el retorno que:	Autores
	Voluntaria	Involuntaria	Motivos personales	Motivos externos		
De fracaso	X	X		X	Se produce después de haber tenido una experiencia negativa en el extranjero	Cerase (1974), Gmelch (1980), Schramm (2011)
Conservador	X		X		Es planeado desde el inicio, ligado a una cantidad esperada de dinero	Cerase (1974), Cassarino (2004)
De retiro o definitivo	X		X		Se hace con la intención de radicarse permanentemente en el país de origen. Puede ser exitoso o no exitoso	Cerase (1974), Durand (2004), Diaz (2009).
Obligado/forzado/ de expulsión/ inadmitidos		X		X	Se da a causa de factores externos, ya que su preferencia es permanecer en el extranjero. Puede ser por razones políticas, raciales, o por negación del ingreso	Durand (2004), Díaz (2009), Red Europea de Migraciones (2011)
No previsto / por nostalgia	X		X		Se da por la imposibilidad de ajuste. Su intención de migración es permanente, pero deciden regresar	Gmelch (1980), Schramm (2011)
Por innovación	X		X		Resulta de una decisión estratégica del migrante. Posiblemente para aplicar en el país de origen lo aprendido afuera	Cerase (1974)
Transitorio	X		X		Se da por breves períodos, especialmente para quienes ya adquirieron los respectivos permisos de residencia	Cavalcanti (2004)
De trabajo temporal/Por plazo fijo	X			X	Está sujeto a programas específicos que exigen u obligan al retorno. Ej.: trabajadores temporales	Durand (2004), Mejía & Castro (2012)
Transgeneracional o Falsos retornados	X		X		La realiza, ya no el migrante, sino su descendencia	Durand (2004), Oso et al. (2008)
Asistido / Normativos	X			X	Resulta de la ejecución de normas o medidas para facilitar el regreso a casa de inmigrantes	Díaz (2009), Red Europea de Migraciones (2011)

Fuente: Elaboración propia.

Ante la complejidad del concepto de retorno y la gran cantidad de matices que tiene, en este trabajo la migración de retorno es entendida como el regreso al país de origen de los migrantes después de haber vivido en el exterior por un largo o corto periodo de tiempo para reasentarse de forma definitiva o temporal. Un retornado será un individuo colombiano que ha vivido alguna vez en el exterior y al momento de responder la encuesta GEM se encontraban en Colombia.

Sobre emprendimiento, en la literatura revisada no se encontró una definición que unifique las diferentes concepciones que hay sobre el término. Emprendimiento es un concepto multidimensional por lo que todo va a depender del enfoque y la perspectiva teórica desde la que se mire (Bula & Tiagha, 2012). En ese sentido cada investigador tiene la responsabilidad de establecer claramente lo que quiere decir al usar el término. En la literatura sobre migración de retorno y emprendimiento, algunos autores denominan emprendimiento a las actividades de autoempleo, así como al inicio y/o sostenimiento de pequeñas, medianas y grandes empresas (Mondragón-Vélez & Peña, 2010). Otros tienen en consideración además que se tenga al menos un empleado (Gubert & Nordman, 2008) o explicitan que las actividades pueden ser informales o sin localización fija y el emprendimiento puede ser una ocupación secundaria (Marcheta, 2012). Adicionalmente algunos autores clasifican el emprendimiento dependiendo de si es rural o urbano (Mancilla et al., 2010), si es creado por hombres o mujeres (Escandon & Arias, 2011) o si es motivado por la necesidad o por la oportunidad (Newland & Tanaka, 2010), entre muchas otras variantes del término. En este estudio los emprendedores se entienden como individuos que han puesto en marcha una empresa y han pagado salarios hasta por 3 meses (emprendedores nacientes) o entre tres y 42 meses (nuevos empresarios).

Existen diferentes teorías sobre el emprendimiento. Las teorías económicas señalan el papel de los factores económicos que mejoran el comportamiento empresarial. Las teorías psicológicas permiten comprender el papel de los factores inherentes al individuo como los rasgos de personalidad, sus percepciones y la necesidad de éxito en la elección de ser emprendedor. Las teorías sociológicas involucran los factores del contexto que se relacionan con el éxito empresarial como lo son las redes sociales, el sistema político y la legislación, entre otros. La teoría antropológica se enfoca en el papel que juega la cultura en la actitud hacia el emprendimiento. La teoría basada en la oportunidad se enfoca en cómo los individuos aprovechan las oportunidades que surgen en los mercados para crear nuevas empresas, y las teorías basadas en los recursos señalan como el acceso a los recursos financieros, redes sociales y educación determina la explotación efectiva de las oportunidades de crear una empresa. Una presentación detallada de estas teorías soportada en estudios empíricos se encuentra en Simpeh (2011). Del mismo modo, Ruiz-Ruano y Puga (2019) analizan las variables implicadas, según las teorías psicológicas de los modelos actitudinales, en la intención emprendedora y aportan evidencia empírica a partir del uso de redes bayesianas sobre la importancia de factores como la autoeficacia, la deseabilidad, la actitud y la norma social.

Teniendo en cuenta la revisión de literatura y de acuerdo con Marchand et al. (2013), la migración puede promover el autoempleo y/o emprendimiento en los países de origen por lo menos a través de tres vías diferentes: las remesas internacionales, el emprendimiento transnacional y el emprendimiento de los migrantes retornados. i) Las remesas internacionales pueden ser monetarias, representadas en bienes y dinero, o sociales (incluyen ideas, comportamientos, identidades y capital social), en algunas ocasiones son usadas para ser invertidas en negocios, especialmente en países pobres con bajo acceso financiero y altas restricciones de crédito. ii) El emprendimiento transnacional de migrantes residiendo en el extranjero, hace referencia a los emprendedores que migran de un país a otro, manteniendo al mismo tiempo los vínculos relacionados con la empresa, con su antiguo país de origen y con los países y comunidades que los han adoptado, y iii) los emprendimientos de los migrantes retornados, es decir, las actividades empresariales que inician los migrantes internacionales una vez regresan al país de origen, como consecuencia del posible incremento de su capital social, humano y financiero adquirido en el exterior, que coincide con la pérdida de vínculos con el país de origen en lo social, laboral y económico.

Bercovitz et al. (2013) establecen que los principales obstáculos a la iniciativa empresarial en las economías en desarrollo son el acceso limitado a la financiación a un precio razonable, la escasez de mano de obra cualificada y educada, y la falta de apoyo social e institucional para la actividad empresarial. En ese sentido, la experiencia migratoria de los retornados podría aportarle elementos que le permitan superar los dos primeros obstáculos gracias a los ahorros y las habilidades adquiridas en el exterior (Kilic et al., 2007; Wahba & Zenou, 2012).

Varias investigaciones han encontrado evidencia en distintos países, principalmente en México, países africanos y de Europa del Este, de que la migración de retorno puede incrementar la posibilidad de ser emprendedor o autoempleado (Batista et al., 2014; González, 2013; Kilic et al., 2007; Martin & Radu, 2012; Piracha & Vadean, 2010; Wahba & Zenou, 2012). Por otra parte, Cruz et al. (2018) analizaron el papel que desempeñan las características de los migrantes retornados y las particularidades de la experiencia migratoria sobre la decisión de emprendimiento de los retornados provenientes de Estados Unidos hacia el Estado de México. De acuerdo con sus hallazgos, el tiempo transcurrido desde la primera migración del retornado, que es una aproximación de la experiencia migratoria, tiene efecto positivo sobre la decisión de volverse emprendedor. Así mismo, características de la experiencia migratoria como los dólares ahorrados e invertidos en pequeños negocios también tienen un efecto positivo sobre la probabilidad de emprender. En concreto hallaron que la probabilidad de emprender es un 11% mayor por cada mil dólares adicionales ahorrados y 0.3% mayor por cada mil dólares adicionales invertidos en pequeños negocios. Otro resultado importante es que los retornados que no tienen problemas económicos a su regreso tienen mayor probabilidad de emprender que aquellos retornados que sí los tienen. Finalmente, aunque la actividad laboral desempeñada durante la migración en los Estados Unidos no afecta la probabilidad de emprender, sí lo hace la actividad laboral desarrollada una vez retorna a México. Presentando un efecto negativo cuando se trata de i) operadores de maquinaria industrial, ensambladores y choferes y ii) profesionales y técnicos. Investigaciones realizadas en países africanos como Ghana y Costa de Marfil (Black & Castaldo, 2009), Túnez, Marruecos, Argelia (Gubert & Nordman, 2008) y Egipto (McCormick & Wahba, 2003), Marruecos (Hamdouch & Wahba, 2015) concluyeron que la probabilidad de que un retornado sea emprendedor está determinada por factores tales como la acumulación de ahorros, haber visitado el hogar, la experiencia de trabajo en el exterior, el sexo, la edad, la zona de origen de los individuos (urbana/rural), tener doble nacionalidad, haber recibido entrenamiento profesional en el extranjero, el nivel educativo, haber sido emprendedor antes de la migración, haber enviado remesas, las condiciones en las que se da el retorno y la duración de la migración.

A nivel de Colombia, Murillo (1983) encontró que los colombianos que retornaron desde Venezuela, después de la primera gran oleada migratoria del país, tendían a ocuparse como autoempleados, mientras que Cárdenas et al. (2010), no encontró evidencia en este sentido. Tovar et al. (2018a) reportan que contar con modelos de referencia, es decir, conocer a alguien que haya iniciado una empresa en los últimos dos años, y percibir que se tienen las capacidades y habilidades para emprender, así como tener educación superior, haber ahorrado dinero durante la estancia en el exterior y establecer contactos con socios o proveedores, son factores que se asocian positiva y significativamente con la probabilidad de que un retornado sea emprendedor. En otro estudio, también para Colombia, Tovar et al. (2018b) encontraron que los principales determinantes del emprendimiento por oportunidad entre los colombianos que retornan al país son la tenencia de expectativas positivas en el país para la creación de empresas en un horizonte de seis meses, los ahorros, y los contactos realizados durante su permanencia en el exterior.

En un estudio llevado a cabo en la ciudad de Loja (Ecuador), Alarcón y Ordóñez (2015), encontraron que la probabilidad de ser emprendedor, empleador o trabajador por cuenta propia está influida por el país en el que se estuvo durante la migración, teniendo mayor probabilidad de ser empleador cuando se retornó desde los Estados Unidos, que desde España. También encontraron que el salario que se tenía en el exterior es decisivo para financiar los emprendimientos; haber recibido alguna formación durante la migración tiene un efecto negativo sobre la probabilidad de ser emprendedor, igual ocurre con el nivel educativo. Por su parte, haber sido emprendedor durante la migración también produce un efecto positivo sobre la probabilidad de ser emprendedor y trabajador por cuenta propia; así mismo, haber retornado voluntariamente en comparación con un retorno forzoso de tipo legal, económico o de salud tiene un efecto positivo en ser emprendedor. También encuentran que hay un efecto positivo y significativo en la probabilidad de ser emprendedores cuando se está satisfecho con la situación actual que se tiene en Ecuador tras el retorno; por su parte, trabajar en la administración pública antes de salir de Ecuador disminuye la probabilidad de ser emprendedor, y haber trabajado en el lugar de destino en actividades de agricultura y hostelería producen efectos positivos y significativos sobre la probabilidad de ser emprendedor y empleador. La intención de emigrar de nuevo

disminuye la posibilidad de tener empresa en Ecuador y la edad también afecta la probabilidad de ser trabajador por cuenta propia.

3. Metodología

Los datos para esta investigación se tomaron de la encuesta realizada por el proyecto Monitor de Emprendimiento Global (GEM - Global Entrepreneurship Monitor) del año 2012. El proyecto GEM es una iniciativa a nivel mundial que tiene como propósito estudiar la relación entre la actividad emprendedora (entrepreneurship) y el desarrollo económico, desde la perspectiva del individuo. En Colombia, el proyecto es liderado por un equipo conformado por cuatro universidades y la encuesta es realizada por el Centro Nacional de Consultoría. Para realizar la encuesta, se usa la versión en español del cuestionario usado a nivel mundial, junto con algunas preguntas adicionadas por el equipo GEM Colombia para estudiar aspectos de interés en el país, como por ejemplo la actividad emprendedora de los retornados.

La encuesta GEM es aplicada mediante entrevistas telefónicas, usando el sistema CATI (Computer Aided Telephone Interview), en las principales ciudades y en las capitales de departamento, y entrevistas cara a cara en municipios con población inferior a 10.000 habitantes. La encuesta se aplicó con cobertura urbana y rural y con un diseño muestral estratificado en cinco regiones del país para que asegurar la representatividad estadística de los resultados (Pereira et al., 2013). Se obtuvo información sobre 6.471 individuos, en edades entre los 18 y los 64 años, residentes en Colombia, de los que 565 fueron clasificados como retornados de acuerdo con la definición operativa establecida para la investigación.

De la muestra total, se extrajo una submuestra de 407 individuos distribuidos en dos regiones del país, Bogotá (204 retornados) y Atlántico (203 retornados). Estas dos regiones fueron consideradas como objeto de estudio dadas sus marcadas diferencias a nivel idiosincrático, cultural y socioeconómico además de ser las que contaban con el mayor número de retornados emprendedores (57 en Bogotá y 47 en la región Atlántica) en comparación con el resto del país. Se encontró que en estas dos regiones se concentraba el 72.03% de los retornados y el 72.7% de los retornados emprendedores encuestados en el proyecto GEM.

Como variable dependiente se consideró un indicador que toma el valor de uno cuando el individuo es un colombiano retornado y realiza alguna actividad emprendedora y de cero en otro caso. Actividad emprendedora se definió como ser un emprendedor naciente, es decir, ser un individuo que se ha involucrado en la puesta en marcha de una empresa en la que hasta el momento pagó salarios por tres meses o ser un nuevo empresario, es decir, tener una empresa y haber pagado salarios durante un periodo entre tres y 42 meses.

La selección de variables explicativas estuvo limitada por la disponibilidad de datos y la escasa cantidad de emprendedores en la muestra. Se decidió dicotomizar todas las variables para perder el mínimo de información cuando las variables tenían frecuencias cero en las categorías de respuesta. Adicionalmente cuando las variables contenían categorías de respuesta que no aportaban elementos para el análisis (“no sabe”, “no responde”, “rechaza” u “otro”) estas categorías fueron excluidas. Las variables seleccionadas se clasificaron en cuatro grupos: i) expectativas y actitud, ii) capacitación, iii) características socio-demográficas y iv) características de la migración.

El grupo de *expectativas y actitud*, incluye tres preguntas: 1) considera que en el país hay buenas oportunidades para iniciar empresa en un horizonte de 6 meses (*Percepción de Oportunidades*), 2) considera que cuenta con las habilidades, conocimientos y experiencia necesarios para empezar una empresa (*Percepción de Habilidades*) y 3) el miedo al fracaso lo detendría para poner en marcha una empresa (*Aversión al Riesgo*). En el grupo de variables, *capacitación*, se incluyó las preguntas: 1) alguna vez ha participado en un curso de formación sobre creación de negocios en la escuela primaria

o secundaria (*Capacitación en el Colegio*) y 2) alguna vez se ha participado en un curso de formación sobre creación de negocios después de completar la educación secundaria (*Capacitación después del Colegio*). El grupo de *características socio-demográficas*, incluye cuatro preguntas: 1) el individuo es hombre o mujer (*Sexo*), 2) el individuo es casado o vive en pareja (*Estado Civil*), 3) la edad del individuo está en el rango de los 18 a los 34 años o en el rango de los 35 a los 64 años (*Edad*). Originalmente, en la encuesta, la información sobre la edad fue capturada de manera cualitativa ordinal con siete categorías formadas por igual número de posibles rangos de edad. Para efectos del análisis se recategorizó en dos, considerando que, de acuerdo con Kilic et al. (2007), las personas más jóvenes pueden ser más propensas a asumir riesgos e iniciar negocios que aquellas de mayor edad. Para la dicotomización de la edad, se consideró el hecho de que una persona que ha salido del país desde joven, al llegar a los 35 años ha estado un tiempo suficiente como para adaptarse, trabajar, formarse profesionalmente y en caso de querer regresar al país, contar con la madurez suficiente para comenzar una empresa; entonces, se asume que, para las personas mayores a esa edad, su proceso de vida les permite estar mejor preparadas para hacer emprendimiento, aunque tendrían en su contra el factor de no querer asumir riesgos posiblemente porque han adquirido responsabilidades de vida importantes como tener hijos. De igual modo, se parte del supuesto de que personas que no han entrado a los treinta o apenas están llegando a esa década de la vida, no tienen muchas responsabilidades formales importantes, lo que les permite asumir riesgos (viendo el emprendimiento como tal, en la medida en que puede ser exitoso o no) como parte de su formación de vida y 4) el nivel educativo del individuo es superior, es decir, técnico incompleto, técnico completo, universitario incompleto, universitario completo o postgrado, o el nivel de educación es de secundaria o menos (*Nivel Educativo*).

El grupo, *características de la migración*, incluye cuatro preguntas: 1) el tiempo de estancia en el exterior fue de tres años o más o el tiempo fue menor a tres años (*Duración de la migración*), 2) el regreso a Colombia se hizo antes del año 2008, es decir, antes de iniciar la crisis económica mundial, o si ocurrió entre el 2008 y el 2012, es decir en el periodo de crisis (*Año de Retorno*), 3) durante la estancia en el exterior, hizo contactos con empresas o personas que ahora son o podrían ser clientes, proveedores o socios (*Contactos*) y 4) preparó el regreso a Colombia realizando previamente ahorros o inversiones (*Ahorros*).

Debido a que el tamaño de muestra y el número de retornados emprendedores en cada una de las regiones fue relativamente pequeño se consideró que utilizar métodos propios de la estadística clásica no eran una buena alternativa para el análisis de datos. Ante esta posibilidad, se estableció una estrategia para seleccionar un subcojunto de variables que permitiera tener el mejor ajuste entre varios posibles. La estrategia incluyó los siguientes pasos: con las 13 variables seleccionadas inicialmente se ajustó un modelo de regresión con respuesta binaria usando un enlace logit con los datos de todo el país y se identificaron seis variables que en conjunto modifican la probabilidad de ser emprendedor en Colombia. Los criterios considerados para seleccionar las variables fueron: tener un valor p asociado a la estimación del coeficiente beta en el modelo menor que 0.1, presentar un intervalo de confianza para la estimación del OR que incluyera el dos (esto indica que la covariable tiene un efecto importante sobre el comportamiento de la probabilidad) y contar con una estimación del efecto marginal con un valor p asociado menor a 0.1. Adicionalmente, se discutió con el equipo de economistas sobre la pertinencia de incluir dichas variables en la estimación de las probabilidades que servirían como información elicitada para el desarrollo del proceso inferencial usando métodos Bayesianos. Con ese conjunto de variables se estimaron modelos para cada una de las regiones con el fin de determinar el subconjunto de variables que modificaban la probabilidad de ser emprendedor en cada región. De esa manera se obtuvo un subconjunto de tres variables para el modelo en la región Atlántico (percepción de habilidades, nivel educativo y ahorros) y cuatro en Bogotá (percepción de oportunidades, percepción de habilidades, contactos y edad). Como todas las variables seleccionadas para establecer los factores asociados con el emprendimiento son dicotómicas, se obtuvieron $2^{k=4}$ grupos de individuos posibles conformados a partir de las combinaciones de categorías (Tabla 2). Dentro de cada grupo se identificó la cantidad de individuos retornados con la combinación de categorías (n_j) y la cantidad emprendedores (r_j).

Tabla 2. Combinaciones de categorías de las co-variables que forman los grupos binomiales establecidos para el análisis bayesiano.

Bogotá						
Combinación *J*	**Percepción de oportunidades**	**Percepción de habilidades**	**Contactos**	**Edad**	**Cantidad de individuos según combinación** (n_j)	**Cantidad de emprendedores en el grupo** (r_j).
	1 *= Habrá buenas oportunidades para emprender en los próximos 6 meses* ***0*** *= No habrá buenas oportunidades de emprender en los próximos 6 meses*	***1*** *= Tiene conocimiento, habilidad y experiencia para iniciar una empresa* ***0*** *= No tiene el conocimiento, habilidad y experiencia para iniciar una empresa*	***1*** *= Hizo contactos mientras estuvo en el exterior con personas o empresas que son o podrían ser sus clientes, proveedores o socios* ***0*** *= No hizo contactos mientras estuvo en el exterior con personas o empresas que son o podrían ser sus clientes, proveedores o socios*	***1*** *= Entre 18 y 34 años* ***0*** *= Entre 35 y 64 años de edad.*		
1	1	1	1	1	16	10
2	1	1	1	0	21	8
3	1	1	0	0	29	7
4	1	0	0	0	8	0
5	0	0	0	0	8	0
6	0	0	1	0	3	0
7	0	1	0	0	12	1
8	0	0	0	1	17	1
9	1	0	0	1	12	3
10	1	1	0	1	22	8
11	1	0	1	1	3	3
12	0	1	1	1	5	3
13	1	0	1	0	3	1
14	0	1	1	0	11	6
15	0	1	0	1	9	1
16	0	0	1	1	4	1

Región Costa Atlántica					
Combinación *J*	**Percepción de habilidades**	**Nivel Educativo**	**Ahorros**	**Cantidad de individuos según combinación** (n_j)	**Cantidad de emprendedores en el grupo** (r_j).
	1 *= Tiene conocimiento, habilidad y experiencia para iniciar una empresa* ***0*** *= No tiene el conocimiento, habilidad y experiencia para iniciar una empresa*	***1*** *= El nivel educativo es superior (técnico o universitario completo o incompleto, o postgrado)* ***0*** *= El nivel educativo es secundaria o menos (sin estudios, primaria o secundaria completa o incompleta)*	***1*** *= Preparó el retorno haciendo algún ahorro o inversión* ***0*** *= No hizo ningún ahorro o inversión para preparar el retorno*		
1	1	1	1	40	20
2	1	1	0	44	12
3	1	0	0	31	4
4	1	0	1	23	5
5	0	0	0	12	0
6	0	1	0	18	2
7	0	1	1	12	2
8	0	0	1	15	0

Fuente: Elaboración propia con base en GEM Colombia, 2012.

Se requería estimar la probabilidad de ser emprendedor dado que se cumplía con la combinación de categorías que identificaba al grupo, que se definió como θ_j para $j = 1,2, \ldots . 2^k$. La metodología Bayesiana exige contar con información de una muestra de observaciones recolectada en forma experimental (en campo o como en este caso a través de encuestas realizadas de forma telefónica) y adicionalmente, contar con información externa (también llamada a priori o previa) al conjunto de datos de la muestra, que puede encontrarse en el conocimiento de una persona considerada especialista en el tema, en fuentes bibliográficas o en archivos históricos. En situaciones en las que no es posible contar con información externa a los datos, algunos autores como Carlin y Louis (2000), proponen construir información previa a partir de una submuestra de los datos obtenidos en campo o con los datos mismos (métodos empíricos de Bayes). La información previa es adaptada al modelo estadístico establecido para la estimación de los parámetros (en este caso las proporciones de emprendedores) a través de distribuciones de probabilidad conocidas como distribuciones previas. En vista de que no se contaba con especialistas en el tema de retorno y emprendimiento en las regiones y que la información publicada para el país es realmente poca, se decidió usar métodos empíricos de Bayes para construir las distribuciones previas. El proceso de construcción de información a priori consideró la obtención de intervalos fijos usando los datos de la muestra completa en una forma similar a lo realizado por Bedrick et al. (1996, 1997). Se realizaron dos aproximaciones para encontrar los límites de los intervalos.

Aproximación 1: se tomaron las estimaciones de las probabilidades máxima ($máx\ (\theta_{Col})$), media ($media\ (\theta_{Col})$) y mínima ($min\ (\theta_{Col})$) usando el modelo ajustado con las covariables importantes para explicar el emprendimiento en Colombia y usando las cantidades de emprendedores y no emprendedores de Bogotá y Atlántico respectivamente. Estos valores fueron asumidos como los límites de tres intervalos, bajo el supuesto de que cada uno podría contener una concentración del 95% de los valores de las probabilidades (proporciones) de interés. Entonces:

$$\boldsymbol{\theta_{11} = máx\ (\theta_{Col}) = 0.9,\ \theta_{12} = media\ (\theta_{Col}) = 0.3}\ \text{y}\ \boldsymbol{\theta_{13} = mín\ (\theta_{Col}) = 0.02}$$

Aproximación 2. Con las estimaciones de los parámetros beta para el modelo ajustado con los datos de todo el país, se estimaron las probabilidades de ser emprendedor para los individuos de cada región. Se obtuvieron de nuevo, tres intervalos de elicitación usando el mínimo, el máximo y la probabilidad media en cada región:

$$\boldsymbol{\theta_{21} = máx\ (\theta_{Bogotá}) = 0.73;\ \theta_{22} = media\ (\theta_{Bogotá}) = 0.29;\ = mín\ (\theta_{Bogotá}) = 0.04}$$

$$\boldsymbol{\theta_{31} = máx\ (\theta_{Costa}) = 0.68;\ \theta_{32} = media\ (\theta_{Costa}) = 0.29;\ mín\ (\theta_{Costa}) = 0.02}$$

Para cada uno de los intervalos se obtuvieron los valores de los hiperparámetros (a, b) que caracterizan las distribuciones previas Beta que modelan el comportamiento de la proporción de emprendedores en la región. Para calcular los hiperparámetros fue necesario contar con una aproximación de la varianza del parámetro visto como variable aleatoria cuyos valores presentan una alta densidad (95%) al interior del intervalo. El cálculo de la varianza y de los hiperparámetros se realizó usando el método propuesto por Tovar (2012).

En la Tabla 3 se presentan los intervalos con información previa y los valores de los hiperparámetros obtenidos para las nueve distribuciones previas evaluadas. Los parámetros de la distribución posterior de la probabilidad de ser emprendedor dada la combinación de categorías en las covariables se obtuvo actualizando la información expresada por la distribución previa con la información contenida en la muestra de datos de cada grupo binomial dentro de la región. Como se tenían verosimilitudes obtenidas a partir de distribuciones binomiales y distribuciones a priori Beta, todas las distribuciones posteriores pertenecían a la familia Beta, es decir: $f(\theta_{ij}|r_{ij}) \sim Beta(a^*_{ij}; b^*_{ij})$ de modo que $a^*_{ij} = a_{ij} + r_{ij}$ y $b^*_{ij} = b_{ij} + n_{ij} - r_{ij}$ son los parámetros de la distribución posterior de la proporción de emprendedores con las características propias del grupo *i* dentro de la región j ($j = 1, 2$). Las cantidades n_{ij} son los números de individuos retornados en el respectivo grupo. Para obtener las estimaciones de las probabilidades de ser emprendedor, se utilizó el software Open Bugs en interfase

con el software R. Se generaron cadenas de 10.000 valores de la distribución posterior (Métodos de Cadenas de Markov, Monte Carlo), aplicando un burn in a los 5.000 valores iniciales y considerando saltos de tamaño 10. En los casos en los que la distribución posterior tenía marcada asimetría se comparó la mediana con el valor donde se concentraba la mayor densidad de probabilidad (moda); en todos los casos, los valores no fueron muy diferentes (no hubo diferencias mayores de 0,00001 entre los dos) así que, cuando la asimetría era visualmente importante, se tomó la mediana posterior como la estimación de la proporción de emprendedores dentro del grupo formado por la combinación de características de las covariables (estimación de la probabilidad condicional de ser emprendedor). Para obtener las regiones de credibilidad se ordenaron las cadenas obtenidas y se establecieron empíricamente los valores de los percentiles 2,5 y 97,5. Para aproximar probabilidades predictivas de tener un número de emprendedores en caso de encontrar una nueva muestra de retornados, se simularon cadenas de datos de una distribución binomial asumiendo como parámetro de la misma cada uno de los valores estimados para las cantidades de interés a través de las distribuciones posteriores.

Tabla 3. Intervalos fijos de elicitación y valores de los hiperparámetros para las distribuciones previas consideradas en el procedimiento de estimación usando métodos de Bayes.

	Intervalo de elicitación	**Hiperparámetro* α**	**Hiperparámetro* β**	**Modelo**
Colombia	0,02 - 0,90	11,34	13,31	M_1
	0,30 –0,90	31,40	20,93	M_2
	0,02 – 0,30	21,78	114,36	M_3
Bogotá	0,04 – 0,73	14,93	23,85	M_4
	0,29 – 0,73	50,11	52,15	M_5
	0,04 – 0,29	28,93	146,43	M_6
Costa Atlántica	0,02 – 0,68	14,27	26,51	M_7
	0,24 – 0,68	46,78	54,89	M_8
	0,02 – 0,24	24,17	161,77	M_9

*Parámetros para una distribución previa $Beta(\alpha, \beta)$
Fuente: Elaboración propia.

Al tener diferentes aproximaciones cuyo fin es modelar el comportamiento natural de las proporciones de emprendedores en las dos regiones, era necesario escoger el modelo ($M_1, M_2, \dots \dots M_9$), que mejor permitía alcanzar dicho objetivo. Existen varios criterios reportados en la literatura para seleccionar el mejor de los modelos. Desde el enfoque Bayesiano uno de los más usados es el Factor de Bayes (BF). Con un código en el programa estadístico R, se calcularon $S = \sum_{i=1}^{8} i = \frac{8(8+1)}{2} = 36$ factores de Bayes al interior de cada uno de los 24 grupos binomiales construidos y se seleccionó como mejor modelo aquel cuyo (BF) es el mayor entre todas las comparaciones posibles y considerando como un valor importante para establecer diferencias, el número tres (ver Kass & Raftery (1995) para detalles).

Se utilizó la probabilidad predictiva como un criterio heurístico para escoger la combinación de características que mejor representa a los emprendedores de la región. Como en Bogotá se observaron grupos de individuos con cantidades que oscilaban entre tres (grupos seis, once y trece) y 29 individuos (grupo 3), se calculó la probabilidad de observar por lo menos un emprendedor en un grupo compuesto por tres personas con la combinación de características. De otro lado, en la Costa Atlántica, las cantidades de sujetos en los grupos oscilaban entre 12 (grupos 5 y 7) y 44 (grupo 2) siendo el menor número de emprendedores cinco, entonces, se calculó la probabilidad futura de observar por lo menos cinco emprendedores si se tuviera un grupo de 12 retornados que cumplían la correspondiente combinación de características.

4. Resultados

4.1. Análisis descriptivo

En la Tabla 4 se resumen las características de los retornados emprendedores en Bogotá y la región Atlántica. De acuerdo con los resultados, los retornados emprendedores son en su mayoría individuos que habían conformado una empresa y llevaban hasta tres meses pagando salarios, es decir, estaban en la etapa de ser emprendedores nacientes (65,96% en la región Atlántica y 57,89% en Bogotá). Los individuos que estaban en la etapa de ser nuevos empresarios (llevaban entre 3 y 42 meses pagando salarios) son relativamente menos y es mayor el porcentaje en Bogotá (42,1%) que la región Atlántica (34,04%).

En cuanto a las expectativas y actitud, la mayoría de los individuos en ambas regiones percibía que había buenas oportunidades para emprender y que contaban con las habilidades para hacerlo. Sin embargo, en la región Atlántica dichas percepciones eran entre un 7% y un 9% mayores. En ambas regiones aproximadamente el 23% de los retornados son adversos al riesgo, es decir, consideraban que el miedo al fracaso lo podría detener en la puesta en marcha de un negocio, siendo el porcentaje un poco más alto en el Atlántico que en Bogotá (0,7% mayor).

Sobre la capacitación se observó un porcentaje relativamente bajo de emprendedores que recibieron capacitación sobre creación de negocios en el colegio (31,9% en Atlántico y 21,1% en Bogotá). La mayoría de los emprendedores en la región Atlántica recibió capacitación después del colegio (55,3%) mientras en Bogotá este porcentaje fue del 45,6%. La mayoría de los emprendedores eran hombres (66% en Atlántico y 68,4% en Bogotá) y tenían un nivel educativo superior (80,9% en Atlántico y 86% en Bogotá). En Bogotá la mayoría de los emprendedores tenía entre 18 y 34 años (54,4%) mientras que en Atlántico la mayoría tenían edades entre los 35 y los 64 años (59,6%). En la región Atlántica el 66% de los emprendedores estaban casados o vivían en pareja, mientras en Bogotá este porcentaje solo era de 48,2%. En cuanto a las características de la migración se encontró que la última estancia en el exterior de la mayoría de los emprendedores fue inferior a tres años (72,3% en la región Atlántica y 82,5% en Bogotá). En la región Atlántica, la mayoría de los individuos retornó al país antes de la crisis económica del 2008 mientras que en Bogotá lo hicieron después de la crisis (entre el 2008 y el 2012). Mientras en Bogotá el 57,9% de los retornados emprendedores hicieron contactos en el extranjero con empresas o personas que son o podrían ser clientes, proveedores o socios, en la región Atlántica solo un 37% lo hicieron. Sin embargo, en la región Atlántica son más los retornados emprendedores que prepararon su retorno a Colombia realizando previamente ahorros o inversiones (60%) en comparación con Bogotá (38,6%).

Tabla 4. Características de los retornados emprendedores de acuerdo con la región.

Variable	Atlántico		Bogotá D.C.	
	Frec.	%	Frec.	%
Actividad emprendedora				
Emprendedores nacientes	31	65,96	33	57,89
Nuevos empresarios	16	34,04	24	42,1
Expectativas y actitud				
Percepción de oportunidades				
Sí	38	84,4	40	75,5
No	7	15,6	13	24,5
Percepción de habilidades				
Sí	42	89,4	47	82,5
No	5	10,6	10	17,5
Aversión al riesgo				

Sí	11	23,9	13	23,2
No	35	76,1	43	76,8
Capacitación				
Capacitación en el colegio				
Sí	15	31,9	12	21,1
No	32	68,1	45	78,9
Capacitación después del colegio				
Sí	26	55,3	26	45,6
No	21	44,7	31	54,4
Características socio-demográficas				
Sexo				
Hombre	31	66,0	39	68,4
Mujer	16	34,0	18	31,6
Estado Civil				
Casado o vive en pareja	31	66,0	27	48,2
No es casado ni vive en pareja	16	34,0	29	51,8
Edad				
18 a 34 años	19	40,4	31	54,4
35 a 64 años	28	59,6	26	45,6
Nivel Educativo				
Superior	38	80,9	49	86,0
Secundaria o menos	9	19,1	8	14,0
Características de la migración				
Duración de la migración				
3 años o más	13	27,7	10	17,5
Menos de 3 años	34	72,3	47	82,5
Año de retorno				
Antes del 2008	28	60,9	27	47,4
Entre 2008 y 2012	18	39,1	30	52,6
Contactos				
Sí	17	37,0	33	57,9
No	29	63,0	24	42,1
Ahorros				
Sí	27	60,0	22	38,6
No	18	40,0	35	61,4

Fuente: Elaboración propia a partir de GEM Colombia (2012).

Partiendo de los resultados de la Tabla 5, se puede observar que para todas las combinaciones estudiadas, las regiones de credibilidad presentan intervalos de valores más angostos que los observados usando los intervalos de confianza del 95% y mientras desde el punto de vista clásico de la estadística, muchas de las combinaciones presentan estimaciones del cero o cien por cien de emprendedores (valores que aparecen como límites de los intervalos de confianza) desde el otro enfoque si contamos con información a priori (aunque sea mínima) es posible obtener valores que no son propiamente el valor límite para la estimación de la proporción de emprendedores en el respectivo grupo. De acuerdo con los resultados observados, en Bogotá las combinaciones con mayores proporciones de sujetos emprendedores serían las que conforman los grupos 1, 11, 12 y 14. La combinación formada por individuos con edades entre 18 y 34 años, que perciben que hay buenas oportunidades para iniciar una empresa e hicieron contacto con personas o empresas que podrían ser sus clientes, proveedores o socios (grupo 11) es la que presenta la mayor proporción de emprendedores. Entre los tres grupos restantes (1, 12 y 14) es común que los individuos piensen que cuentan con conocimientos y habilidades para emprender y han hecho contacto con posibles proveedores o socios al regresar al país. En cuanto a la región de la Costa Atlántica, las combinaciones que forman los grupos 1 y 2 presentan las estimaciones con mayor valor por ambos métodos. Sin embargo, la combinación formada por individuos que además de pensar que tienen habilidad, conocimiento y experiencia para emprender, tienen un nivel educativo

superior y ahorran dinero pensando en el retorno (grupo 1), presenta la mayor proporción de emprendedores (Tabla 5). Para el caso de Bogotá, la probabilidad predictiva de encontrar uno o más emprendedores en un grupo de tres retornados, es muy alta cuando se trata de sujetos retornados mayores de 35 años, que pensaron que en Colombia habría buenas oportunidades para emprender en los siguientes seis meses y antes de regresar al país realizaron contactos con personas que podrían ser sus proveedores, clientes o socios (grupo 11). Esta probabilidad predictiva es la mayor entre los 16 grupos de individuos. Sin embargo, es importante observar que para los otros tres grupos (1, 12 y 14) dichas probabilidades también son importantes. Si en la costa Atlántica, se tomara a futuro, una muestra de doce individuos retornados con una alta probabilidad de tener al menos cinco emprendedores, la misma estaría conformada por individuos que creen tener conocimiento, habilidades y experiencia para emprender, cuentan con un nivel de educación de por lo menos formación técnica incompleta y han ahorrado dinero o hecho inversiones en el exterior, pensando en realizar algún proyecto de emprendimiento en el país (Tabla 5).

Tabla 5. Estimaciones puntuales y por regiones de las probabilidades de emprendimiento obtenidas mediante el uso de método de la máxima verosimilitud y métodos Bayesianos.

		Estimación por Máxima Verosimilitud			Estimación usando métodos de Bayes			
Región	**Grupo**	**Proporción Emprendedores**	**IC⁺ 95%**		**Proporción Emprendedores****	**RC⁺⁺ 95%**		**Predictiva**
Bogotá	**1**	0,625	0,354	0,847	**0,6059**	0,4919	0,7184	**0,9388**
	2	0,381	0,181	0,615	0,3836	0,2654	0,5095	0,7658
	3	0,241	0,103	0,435	0,1758	0,1265	0,2296	0,4402
	4*	0,000	0,0	0,369	0,1511	0,0967	0,2144	0,3883
	5*	0,000	0,0	0,369	0,1511	0,0967	0,2144	0,3883
	6*	0,000	0,0	0,707	0,1565	0,1012	0,2212	0,3999
	7	0,083	0,002	0,384	0,1538	0,1004	0,2149	0,3940
	8	0,059	0,001	0,286	0,1488	0,0981	0,2098	0,3832
	9	0,250	0,054	0,571	0,3272	0,2094	0,4550	0,6955
	10	0,364	0,172	0,593	0,3547	0,2422	0,4749	0,7313
	11*	1,000	0,292	1,0	**0,6217**	0,4628	0,8033	**0,9459**
	12	0,600	0,146	0,947	**0,6000**	0,4725	0,7211	**0,9360**
	13	0,333	0,008	0,905	0,3488	0,2163	0,4929	0,7238
	14	0,545	0,233	0,832	**0,5905**	0,4657	0,7218	**0,9313**
	15	0,111	0,002	0,482	0,1291	0,086	0,1785	0,3395
	16	0,250	0,006	0,805	0,3406	0,2084	0,4870	0,7138
Costa Atlántica	**1**	0,500	0,338	0,661	**0,4847**	0,3662	0,6057	**0,775**
	2	0,273	0,149	0,427	0,3099	0,2129	0,4109	0,303
	3	0,129	0,036	0,298	0,1542	0,1044	0,2117	0,027
	4	0,217	0,074	0,436	0,1683	0,1143	0,2308	0,038
	5*	0,000	0,0	0,264	0,1221	0,0810	0,1703	0,010

	6	0,111	0,0137	0,347	0,1283	0,0861	0,1775	0,013
	7	0,167	0,020	0,484	0,1605	0,0792	0,1691	0,031
	8*	0,000	0,0	0,217	0,1203	0,0932	0,2034	0,010

***** Intervalos de confianza exactos obtenidos usando la distribución binomial de probabilidades.

****** Mediana de la distribución posterior de Bayes.

[+]Conjunto de valores formado bajo el supuesto de que se repite el estudio 100 veces y en 95 de las repeticiones los valores de las proporciones muestrales quedan dentro de esos límites. Dado que la mayoría de las proporciones estimadas con las muestras están en ese intervalo, se asume que el verdadero valor de la probabilidad de emprendimiento está dentro del mismo.

[++] Región de credibilidad del 95% de probabilidad. Es el conjunto de valores dentro del que se espera con una probabilidad de 0,95 que se encuentre el valor de la probabilidad de emprendimiento.

Fuente: Elaboración propia a partir de GEM Colombia (2012).

5. Discusión

De acuerdo con los resultados obtenidos, se puede decir que, en general, los emprendedores que retornan en los periodos de crisis (2008-2012), como es el caso de la mayoría de retornados de Bogotá, tienen menos probabilidad de preparar su retorno haciendo ahorros e inversiones. Por el contrario, cuando el regreso no se produce en medio de un periodo de crisis de la economía es mayor el porcentaje de emprendedores que prepararon su retorno haciendo ahorro o inversiones mientras estaban en el exterior, como ocurre en la región Atlántica. En esta misma región, se observó que las personas que retornaron con ahorros tenían mayor edad que los retornados de Bogotá y habían pasado un mayor periodo de estancia en el exterior, hecho que les permitió acumular más ahorros y planear mejor su regreso. Este resultado, concuerda con lo expresado por Kilic et al. (2007) quien encontró evidencia de que los primeros emigrantes son más propensos a acumular mayores cantidades tanto de dinero como de habilidades en el extranjero, aumentando así la probabilidad de iniciar un nuevo negocio. También puede ocurrir que, ante una estancia más larga, se produzca una mayor pérdida de contacto con las personas que formaban las redes sociales y de experiencia de trabajo en el mercado local, lo que es compensado con el dinero ahorrado (Wahba & Zenou, 2012).

Autores como Cruz et al. (2018), Black y Castaldo (2009), Mesnard (2004), Tovar et al. (2018a) y Tovar y Victoria (2013), coinciden en señalar que los ahorros y/o los contactos hechos durante la estancia en el exterior son un factor clave, que hace a los retornados más propensos a la creación de empresas o al autoempleo, en la medida que estos les permiten solventar las restricciones de crédito o facilitar la identificación de oportunidades de negocio que se encuentran en los mercados de los países de origen, generalmente economías en desarrollo. Otros autores han señalado que los ahorros mejoran la posibilidad de supervivencia de las actividades empresariales en la medida que son un autoseguro que tienen las pequeñas y medianas empresas para enfrentar la vulnerabilidad que las caracteriza (Marcheta, 2012). Los resultados de nuestras estimaciones aportan más evidencia, en este caso para un país suramericano, de que los ahorros y los contactos tienen un efecto positivo en la probabilidad de ser emprendedor, aunque su importancia difiere de una región a otra del país. Para ser retornado emprendedor en Bogotá, la capital y mayor centro empresarial, industrial y cultural del país, es importante además de una alta autoconfianza, contar con contactos establecidos en el país de llegada, desde antes de regresar al mismo mientras que, en la región de la costa Atlántica, que se caracteriza por tener una economía basada en la industria agraria y el turismo, el factor más importante para emprender después de retornar al país, es contar con dinero ahorrado en el país extranjero y traerlo al país para comenzar la oportunidad de emprendimiento. En términos de características sociodemográficas, en Bogotá la edad (ser joven) es un factor importante para emprender mientras que en la costa Atlántica es importante el nivel educativo del individuo retornado independiente de su edad, resultado que coincide con el obtenido por Tovar et al. (2018a) quienes en su trabajo concluyen que tener educación superior tiene un efecto positivo y significativo sobre la probabilidad de que un retornado sea emprendedor. Investigaciones adelantadas en otros países han llegado también a estos

mismos resultados. Por ejemplo, en Egipto la edad afecta la probabilidad de iniciar empresas agrícolas, pero no tiene efecto sobre las empresas no agrícolas (McCcornick & Wahba, 2004). En Túnez la edad afecta negativamente a la probabilidad de ser emprendedor mientras que en Argelia y Marruecos no afecta. En los tres países del Magreb Árabe (Túnez, Argelia y Marruecos) se encontró que un mayor nivel educativo tiene un efecto positivo y significativo sobre la probabilidad de iniciar actividades empresariales (Gubert & Nordman, 2008). En Ecuador, Alarcón y Ordoñez (2015) reportaron que la probabilidad de ser emprendedor disminuye si se tiene educación universitaria debido a que con este nivel de formación se puede acceder a empleo asalariado con un retorno suficiente y estable que incide en que las personas no asuman los riesgos de ser empresarios, mientras que, respecto a la edad, la probabilidad de que un retornado sea trabajador por cuenta propia o empleador es mayor al principio y al final de la vida laboral.

En este estudio, las diferencias que se observan en las variables que afectan la probabilidad de ser emprendedor en cada una de las regiones podrían deberse, entre otras cosas, a que las dos regiones difieren no solo en términos culturales y de idiosincrasia sino también en términos de factores socioeconómicos e institucionales que pueden fomentar o inhibir la creación de nuevas empresas (Crissien-Castillo, 2009; Gómez et al., 2006; Newland & Tanaka 2010). De acuerdo con estudios regionales del Proyecto GEM (Gómez et al., 2011; Vesga & Quiroga, 2010), donde se pregunta a expertos acerca de la opinión que tienen sobre nueve aspectos institucionales que afectan el desarrollo del emprendimiento, en general Bogotá es mejor evaluada que la región Atlántica, aunque en ambas regiones se señala que hay problemas con la financiación de los emprendimientos y las fortalezas en la educación para la creación de empresas. En otros aspectos institucionales el contraste entre las dos regiones es más notorio. Por ejemplo, mientras en la Costa Atlántica se considera que: i) las normas sociales y culturales estimulan muy poco la asunción de riesgo empresarial, ii) las políticas gubernamentales no favorecen claramente el emprendimiento, iii) hay lentitud e ineficiencia en los trámites requeridos para la creación de una empresa y iv) hay problemas de acceso a la infraestructura legal y comercial (no es fácil encontrar asesoría legal, contable, laboral y fiscal), en Bogotá estos aspectos son mejor evaluados y además tiene una fortaleza relativa en tecnología porque el número de empresas que usa tecnología de menos de 5 años es más alto que en el resto de Colombia.

6. Conclusiones

La probabilidad de que un colombiano retornado sea emprendedor, en la capital del país, Bogotá, y en la región Atlántica, está determinada por un conjunto de características individuales, como la autoconfianza, las expectativas en el crecimiento económico del país, el nivel educativo y la edad y por características relacionadas con la experiencia migratoria, tales como la posibilidad de ahorrar dinero o establecer contactos mientras se estuvo en el exterior. Sin embargo, con la excepción de factores como percibir que se tiene el conocimiento, la habilidad y la experiencia para emprender, los demás factores que afectan la probabilidad de ser emprendedor difieren de una región a otra, probablemente, debido a que las diferencias en las condiciones del contexto de cada región pueden obstaculizar o promover la ceración de empresas y/o condicionar la manera como los factores individuales y de la experiencia migratoria se combinan para aumentar la probabilidad de ser emprendedor. Los ahorros y los contactos que hacen los migrantes durante su estancia en el exterior son factores clave para explicar la actividad emprendedora a su regreso al país de origen (por lo menos en la experiencia colombiana) y la relevancia de cada uno de estos factores en las distintas regiones del país podría estar condicionada con la etapa en la que se encuentra la empresa. Por ejemplo, en Bogotá el hecho de contar con mejores condiciones institucionales para la creación de empresa y un entorno probablemente más competitivo permite que haya más nuevos empresarios, es decir, personas que han pagado salarios por un periodo de entre tres a cuarenta y dos meses, mientras que en la región del Atlántico son más los emprendedores que han pagado salarios hasta por tres meses (empresarios nacientes). Es posible también que los ahorros sean muy importantes para superar los primeros obstáculos de la creación de empresas (en el caso de los empresarios nacientes), pero a medida que la empresa se consolida (se alcanza el estatus de nuevo empresario), son los contactos o las redes el factor clave. Otra posibilidad que existe es, que las

condiciones del entorno de cada región (por ejemplo, la escasez de fondos y fuentes para financiar la iniciativa empresarial o el nivel de competencia) determinen que uno u otro factor prevalezca para la creación de empresa.

Reconociendo lo anterior, es necesario que futuras investigaciones estudien con más detalle la manera como el contexto, incluidos los factores institucionales, afectan la probabilidad de que los retornados sean emprendedores. Esto es importante, si se considera que hay condiciones culturales y estructurales de la economía, que hacen que el emprendimiento sea la única alternativa para la generación de ingresos ante la imposibilidad de insertarse en los mercados de trabajo locales, por ejemplo, por barreras en los mercados de trabajo que no permiten la inserción en el mercado laboral de los retornados por motivos de edad o experiencia. Adicionalmente, se necesitan más investigaciones que analicen los determinantes de las motivaciones para el emprendimiento toda vez que, se considera que cuando la creación de empresas es motivada por la oportunidad, y no por la necesidad, puede tener un efecto positivo mayor sobre el desarrollo económico de los países.

Por otro lado, se requiere mejorar las fuentes de información y las bases de datos disponibles para el estudio de la migración en general y del retorno en particular. Por ejemplo, el estudio GEM podría incluir un módulo mucho más amplio que permita indagar a profundidad sobre la manera como la experiencia migratoria puede afectar la probabilidad de ser emprendedor y sobre el efecto que tengan los programas diseñados en el marco de la política migratoria del país, para promover la creación de empresas. Adicionalmente, en Colombia, debería dársele continuidad a la inclusión del módulo de migración internacional y retorno para poder hacer análisis longitudinales y, más importante aún, dicho modulo debería incluirse en los estudios GEM de otros países para poder hacer comparaciones internacionales. Esta investigación es importante en contextos como el suramericano, no solo por ser una de las primeras que aborda cuáles son los factores que afectan la probabilidad de ser emprendedor de los migrantes internacionales retornados, sino también porque propone un abordaje metodológico diferente, mediante el uso de métodos de estimación bayesianos, que son bastante útiles cuando se cuenta con muestras reducidas de observaciones, situación bastante común en los estudios sobre migración. En términos de la política migratoria nuestros hallazgos revelan la importancia de que los programas e iniciativas que promueven el emprendimiento de los retornados estén focalizados en las distintas regiones. Que se mejoren los mecanismos que tienen estos programas para promover que los colombianos, mientras están en el exterior, puedan ahorrar con fines productivos en el país de origen y construir o insertarse en redes (contactos) específicas para el emprendimiento. Por ejemplo, el país ha avanzado en la construcción de un ecosistema para el emprendimiento, pero es necesario que los colombianos que están en el exterior tengan mecanismos o canales efectivos para conocer e insertarse en dicho ecosistema en cada una de las regiones.

En este estudio se utilizaron métodos propios del paradigma Bayesiano de la estadística debido a que el tamaño de la muestra obtenida mediante la aplicación telefónica de la encuesta GEM, puede considerarse demasiado reducido como para abordar el problema utilizando métodos frecuentistas como los modelos de regresión binaria, que exigen contar con una cantidad suficiente de grados de libertad para poder realizar las estimaciones de los parámetros en el modelo. La metodología Bayesiana permitió, además de estimar las probabilidades de emprendimiento, obtener probabilidades predictivas de ser emprendedor cuando se cumple con un conjunto de características asociadas a la individualidad y al entorno del migrante retornado. Estas probabilidades fueron asumidas en forma de indicadores de riesgo (en términos positivos) para ser emprendedor bajo las condiciones propias del individuo. Las probabilidades predictivas de Bayes pueden ser una herramienta útil en el momento de establecer condiciones para que un evento éxito ocurra (en este caso el emprendimiento) pues permiten establecer a partir de información observable (características del retornado) la probabilidad de un evento aún no observado.

El estudio cuenta con limitaciones dos de las cuales pueden clasificarse como metodológicas solo que en diferente forma. La primera limitación está relacionada con el hecho de que las versiones de la encuesta GEM posteriores y anteriores al año 2012 no consideran las preguntas sobre retorno y emprendimiento incluidas en este estudio, lo que hace imposible comparar los resultados obtenidos bajo

un mismo marco estructural. Esta limitación puede ser vista como una fortaleza del estudio en la medida en que hace una primera aproximación al problema. Se requeriría que el grupo que aplica la GEM a partir de los resultados aquí presentados considere su importancia con miras a plantearse la posibilidad de adicionar las preguntas de nuevo en el formulario, bien sea de manera temporal o permanente.

También es importante establecer que el hecho de contar solo con información del año 2012, genera una limitación sobre la actualidad de los resultados y las conclusiones del estudio, pues la dinámica de la economía internacional, de las corrientes migratorias y las condiciones sociales y culturales del país, pueden hacer que los resultados presentados pierdan relevancia y capacidad explicativa para el fenómeno estudiado. Sin embargo, el hecho de contar con estimaciones obtenidas bajo el paradigma Bayesiano, permite tener mayor garantía sobre la posibilidad de estar considerando una gama bastante amplia de condiciones y características no observadas que podrían ocurrir en algún momento, de modo que se estaría trabajando con lo que sería una situación promedio.

También podría ser visto como una limitación, el hecho de no contar con distribuciones previas "informativas" obtenidas después de elicitar información subjetiva a través del conocimiento de un especialista en migración, retorno y emprendimiento. Contar con este tipo de información robustece los resultados pues, dados los tamaños de muestra, el efecto de la distribución previa sobre la estimación de la probabilidad de emprendimiento es bastante importante. Nuestra aproximación consideró los métodos empíricos de Bayes para hacer la aproximación buscando incluir distribuciones previas obtenidas a través de intervalos fijos (elicitados) que incluyen una variabilidad importante al interior del rango de valores que toma la proporción de emprendedores. Con esto se buscó, disminuir la fuerza del efecto de la distribución previa sobre los valores finales de las estimaciones, aunque somos conscientes de que, cambios estructurales no observados pueden ocasionar cambios en los primeros momentos o los momentos superiores de las densidades posterior estimadas usando previas empíricas. Pensamos que, en caso de presentarse la oportunidad de volver estudiar el tema del retorno y el emprendimiento en Colombia bajo el mismo enfoque metodológico, los resultados presentados en este estudio serían útiles para la construcción de distribuciones previas "informativas" acerca de las probabilidades de emprendimiento.

Dadas las características de este trabajo como pionero sobre el tema en Colombia, se considera que, dentro de una línea de investigación centrada en el retorno y el emprendimiento, se podría pensar en realizar un estudio que compare los indicadores de emprendimiento en individuos retornados con los observados en individuos emprendedores que no han migrado en ningún momento de sus vidas. Dicha comparación permitiría contar con más herramientas para la comprensión del perfil del retornado, además de observar qué pasaría en ambas regiones dado que, según los resultados observados en este estudio, hay características propias de la región que hacen al emprendedor distinto, o más bien que haya ciertas circunstancias o características que hagan que unos sean emprendedores frente a otros.

Agradecimientos

Los autores expresamos nuestros más sinceros agradecimientos a las estudiantes Alejandra Torres y Alejandra Esquivel de la Escuela de Estadística por su valioso apoyo en la organización de los archivos de datos para poder realizar los análisis estadísticos. También agradecemos a Jennyfer Portilla y a Llerzy Torres por su ayuda en el desarrollo de los códigos R para los análisis Bayesianos.

Referencias

Alarcón, S., & Ordóñez, J. (2015) Ecuador: retorno migratorio y emprendimiento en Loja. *Revista CEPAL, 117*, 69-86. https://doi.org/10.18356/d18809ec-es

Batista, C., Mcindoe-Calderz, T., & Vicente, P. (2014). Return Migration, Self-Selection and Entrepreneurship in Mozambique. *IZA Discussion Paper 8195*. https://papers.ssrn.com/sol3/papers.cfm?abstract_id=2441491

Bedrick, E.J., Christensen, R., & Johnson, W. (1996). A new perspective on priors for generalized linear models. *Journal of American Statistical Association, 91*, 1450-1460. https://doi.org/10.2307/2291571

Bedrick, E.J., Christensen, R., & Johnson, W. (1997). Bayesian binomial regression: predicting survival at a trauma center. *The American Statistician, 51*, 211-218. https://doi.org/10.1080/00031305.1997.10473965

Bercovitz, J., Martens, A., & Savage, J. (2013). Human Mobility and Returnee Entrepreneurship: Evidence from Mexico. *DRUID paper 35th,* 17-19. https://conference.druid.dk/acc_papers/q0hhh6n51g6x8km92n345ysop9q9.pdf

Black, R., & Castaldo, A. (2009). Return migration and entrepreneurship in Ghana and Côte D'Ivoire: the role of capital transfers. *Tijdschrift voor Economische en Sociale Geografie*, *100(1)*, 44-58. https://doi.org/10.1111/j.1467-9663.2009.00504

Bula, H.O., Tiagha, E. (2012) Women Entrepreneurs in Kenya's Small Scale Enterprises: a demographic Perspective. *European Journal of Business and Management, 4*(9), 101-110. https://www.ku.ac.ke/schools/business/images/stories/research/women_entreprenures.pdf

Cárdenas, M., Medina, C., & Trejos, A. (2010). Measuring Economic and Social Impacts of Migration in Colombia: New evidence. *Borradores de economía, 601*, 1-54. https://doi.org/10.32468/be.601

Carlin, B.P., & Louis, T. (2000). *Bayes and Empirical Bayes Methods for Data Analysis 2nd ed.* Chapman & Hall/CRC. https://www.jstor.org/stable/3622080

Cassarino, J.P. (2004). Theorizing return migration: The conceptual approach to return migrants revisited. *International Journal on Multicultural Societies, 6*(2), 162-188. https://ssrn.com/abstract=1730637

Cavalcanti, L. (2004). La influencia de las nuevas tecnologías en el retorno de los inmigrantes contemporáneos. *Scripta Nova, 8*(170), Artículo 38. http://www.ub.edu/geocrit/sn/sn-170-38.htm

Cerase, F.P. (1974). Expectations and reality: A case study of return migrations from the United States to Southern Italy. *International Migration Review, 8*(2), 245-262. https://pubmed.ncbi.nlm.nih.gov/12339170

Congreso de Colombia (2012). *Ley 1565* (Diario Oficial No. 48.508). www.senado.gov.co.

Cortizo, A., Frades, M., Hidalgo, C., & Sánchez, M. (2011). *La migración de retorno en Castilla y León.* Junta de Castilla y León y Fundación de cooperación y ciudadania de Castilla y León. https://www.researchgate.net/publication/347422953_La_migracion_de_retorno_en_Castilla_y_Leon

Crissien-Castillo, J.O. (2009). Investigando el entrepreneurship tras un marco teórico y su aporte al desarrollo económico de Colombia. *Escuela de Administración de Negocios, 66*, 67-83. https://doi.org/10.21158/01208160.n66.2009.473

Cruz V.M., Salas. A.R., & Pico, G.B. (2018). El emprendimiento de los migrantes retornados, el papel de las características de los migrantes y las particularidades de la experiencia migratoria. El caso del estado de México. *Revista de Economía, 36*(92), 46-93 http://www.scielo.org.mx/pdf/remy/v36n92/2395-8715-remy-36-92-46.pdf

Díaz, L.M. (2009). La quimera del retorno. *Diálogos Migrantes, 4*, 13-20.

Durand, J. (2004). Ensayo teórico sobre la migración de retorno. El principio del rendimiento decreciente. *Cuadernos Geográficos, 35*(2), 103-116. https://doi.org/10.30827/cuadgeo.v35i2.1784

Escandon, B.D., & Arias, S.A. (2011). Factores que componen la competitividad de las empresas creadas por mujeres y las relaciones entre ellos. *Cuadernos de Administración, 24*(42), 165-181. https://www.redalyc.org/pdf/205/20520042008.pdf

Gmelch, G. (1980). Return Migration. *Annual Review of Anthropology. 9*, 135-159. https://doi.org/10.1146/annurev.an.09.100180.001031

Gómez, L., Martínez, J., & Arzusa, B.M. (2006). Política pública y creación de empresas en Colombia. *Pensamiento y Gestión, 21*, 1-25. https://www.redalyc.org/pdf/646/64602101.pdf

Gómez, L., Martínez, C.P., Angulo, L.E., Orozco, T.J., Jiménez, P., et al. (2011). *Global Entrepreneurship Monitor (GEM) Colombia Caribe 2010*. Universidad del Norte, Universidad de Cartagena, Fundación Universitaria Tecnológico Comfenalco, Comfenalco Cartagena, Coosalud Cartagena, Corporación Universitaria del Caribe–CECAR, Universidad de Magdalena. Bogotá: Universidad del Norte, 2010.

González, L.H. (2013). *Essays on Mexican Migration.* Tesis Doctorado en Filosofía. University of Pittsburgh.

Gubert, F., & Nordman, C.J. (2008). Return migration and small enterprise development in the Maghreb. *European University Institute, MIREM-AR*, 2008/02. http://hdl.handle.net/1814/8887

Hamdouch, B., & Wahba, J. (2015) Return migration and entrepreneurship in Morocco. *Middle East Development Journal*, *7*(2), 129-148, https://doi.org/10.1080/17938120.2015.1072696

Hercog, M., & Siegel, M. (2011). Promoting return and circular migration of the highly skilled. *UNU-MERIT Working Paper Series, 2011-015.* https://www.researchgate.net/publication/228293997_Promoting_Return_and_Circular_Migration_of_the_Highly_Skilled

Kass R., & Raftery A. (1995). Bayes Factors. *Journal of the American Statistical Association*, *90* (430), 773-795. https://doi.org/10.2307/2291091

Kilic, T., Carletto, G., Davis, B., & Zezza, A. (2007). Investing Back Home: Return Migration and Business Ownership in Albania. *The World Bank, Policy Research Working Paper 4366.* http://www.fao.org/publications/card/en/c/a37ab1de-4490-5634-9fec-bfb4697cf386/

Mancilla, C., Viladomiu, L., & Guallarte, C. (2010). Emprendimiento, inmigrantes y municipios rurales: el caso de España. *Economía Agraria y Recursos Naturales*, *10*(2), 123-144. https://dialnet.unirioja.es/servlet/articulo?codigo=3421952

Marchand, K., Fransen, S., & Siegel, M. (2013) Migrant Entrepreneurship, Remittances & Development. *United Nations University-MERIT (UNU-MERIT) y Maastricht Graduate School of Governance (MGSoG).* Background paper International Policy Debate 29 May 2013, 1-12.

Marchetta, F. (2012) Return Migration and the Survival of Entrepreneurial Activities in Egypt. *European University Institute. working Papers RSCAS 2011/01* https://doi.org/10.1016/j.worlddev.2012.05.009

Martin, R., & Radu, D. (2012) Return Migration: The Experience of Eastern Europe. *International Migration, 50*(6), 109-128. https://doi.org/10.1111/j.1468-2435.2012.00762.x

Mccormick, B., & Wahba, J. (2003) Return International Migration and Geographical Inequality. The Case of Egypt. *Journal off African Economies, 12*(4), 500-532.

Mejía, O.W. (2010). *Panorama del retorno reciente de migrantes internacionales a Colombia.* VI Jornada Fundación Carolina: Migración y Desarrollo Humano. Barranquilla: Red Alma Mater. Documento presentado en la VI Jornada Fundación Carolina: Migración y Desarrollo Humano, llevada a cabo en el marco de la Cátedra Europa.

Mejía, O.W., & Castro, Y. (2012) *Retorno de migrantes a la Comunidad Andina.* Fundación Esperanza. https://redretornoycircularidad.files.wordpress.com/2015/07/mejc3ada-y-castro-2012.pdf

Mesnard, A. (2004). Temporary migration and capital market imperfections. *Oxford Economic Papers, 56*(2), 242-262. https://www.jstor.org/stable/3488825

Mondragón-Vélez, C., & Peña, P.X. (2010). Business Ownership and Self-Employment in Developing Economies: The Colombian Case. En Lerner, & Schoar, A., *International Differences in Entrepreneurship*, Chapter 3, 89-127. University of Chicago Press.

Murillo, G. (1983) Effects of Emigration and Return on Sending Countries: the case of Colombia. *International Social Science Journal, 36*, 453-467. http://unesdoc.unesco.org/images/0005/000579/057940EB.pdf

Newland, K., & Tanaka, H. (2010) *Mobilizing Diaspora Entrepreneurship for Development.* Migration Policy Institute. https://www.migrationpolicy.org/pubs/diasporas-entrepreneurship.pdf

OECD (2008). *Return Migration: A New Perspective*. International Migration Outlook. https://www.oecd.org/migration/mig/43999382.pdf

Organización Internacional para las Migraciones (OIM) (2010). *Perfil Migratorio de Colombia 2010.* https://publications.iom.int/es/books/perfil-migratorio-de-colombia-2010

Organización Internacional para las Migraciones (OIM) (2013). *Perfil Migratorio de Colombia 2012.* https://repositoryoim.org/handle/20.500.11788/222?locale-attribute=en

Oso, C.L., Golías, P.M., & Villares, V.M. (2008) Inmigrantes extranjeros y retornados en Galicia: la construcción del puente transnacional. *Política y Sociedad, 45*(1), 103-117. https://revistas.ucm.es/index.php/POSO/article/view/POSO0808130103A

Pedone, C., & Gil, A.S. (2013). *Políticas públicas, migración familiar y retorno de la población migrante latinoamericana en Cataluña: una perspectiva transnacional,* Barcelona, Cataluña: Consorci Institut d'Infància i Món Urbà. Seminario "Políticas públicas, migración familiar y retorno de la población migrante latinoamericana en Cataluña: una perspectiva transnacional", organizado por el CIIMU, GEDIME (UAB) Y GIIM, 1-45.

Pereira, F., Vesga, R., Quiroga, R., Varela, R., Soler, J., Gómez, L., & Restrepo, J. (Edits.), (2013). *GEM, Global Entreprenuership Monitor: Colombia 2012.* Bogotá, Colombia: Universidad de los Andes, Ediciones Uniandes. https://1library.co/document/yd7003ey-gem-global-entrepreneurship-monitor-colombia.html

Piracha, M., & Vadean, F., (2010) Return Migration and Occupational Choice: Evidence from Albania. *World Development, 38*(8), 1141-1155. https://doi.org/10.1016/j.worlddev.2009.12.015

Red Europea de Migraciones. (2011). *Estrategias de fomento y programas de retorno asistido y reintegración de nacionales de terceros países.* Informe de síntesis de la EMN: Retorno asistido y reintegración en terceros países.

Rivera-Sánchez, L. (2011). ¿Quiénes son los retornados? Apuntes sobre el migrante retornado en el México contemporáneo. En Feldman, B., Rivera, L., Stefoni, C. y Villa, M. *La construcción social del sujeto migrante en América Latina Prácticas, representaciones y categorías.* 309-337, Colección Cátedra Iberoamericana. Crearimagen.

Ruiz-Ruano, A.M., & Puga, J.L. (2019) Modelling academic entrepreneurial intention with Bayesian networks, *Revista de Psicología Social*, *34*(2), 383-411. https://doi.org/10.1080/02134748.2019.1589783

Schramm, C. (2011). Retorno y reinserción de migrantes ecuatorianos. La importancia de las redes sociales transnacionales. *Revista CIDOB d'Afers Internacionals*, *93-94*, 241-260. https://dialnet.unirioja.es/servlet/articulo?codigo=3689860

Simpeh, K.N. (2011). Entrepreneurship theories and Empirical research: A Summary Review of the Literature. *European Journal of Business and Management, 3*(6), 1-8. https://www.researchgate.net/publication/230814855

Tovar, J.R. (2012). Eliciting Beta prior distributions for binomial sampling. *Revista Brasileira de Biometria, 30*(1), 159-172. http://jaguar.fcav.unesp.br/RME/fasciculos/v30/v30_n1/A10_Rafael_Tovar.pdf

Tovar, L.M., & Victoria, M.T. (2013). Migración internacional de retorno y emprendimiento: revisión de la literatura. *Revista de Economía Institucional, 15*(29), 41-65. http://www.scielo.org.co/scielo.php?script=sci_arttext&pid=S0124-59962013000200004

Tovar, L.M., Balanta, C.S., Ordoñez, J.A., & Serna, W. (2018a). Factores asociados al emprendimiento por oportunidad de colombianos retornados del exterior. *Migraciones*, *45*, 119-142. https://doi.org/mig.i45.y2018.005

Tovar, L.M., Victoria, M.T., Tovar, J.R., Troncoso, G., & Pereira, F. (2018b) Factores asociados a la probabilidad de emprendimiento en migrantes colombianos que retornan a Colombia". *Migraciones Internacionales*, *9*(3), 169-192. http://dx.doi.org/10.17428/rmi.v9i34.366

United Nations (1998). Recommendations on Statistics of International Migration. Revision 1. *Department of Economic and Social Affairs Statistics Division*. http://unstats.un.org/unsd/publication/SeriesM/SeriesM_58rev1e.pdf

Vesga, R.A., & Quiroga, R.F. (2010) Global Entrepreneurship Monitor (GEM). Reporte anual Bogotá 2009-2010. *Universidad de los Andes, Facultad de Administración, Cámara de Comercio de Bogotá.* Uniandes.

Wahba, J., & Zenou, Y. (2012). Out of sight, out of mind: Migration, entrepreneurship and social capital. *Regional Science and Urban Economics, 42*(5), 890-903. https://doi.org/10.1016/j.regsciurbeco.2012.04.007

ANEXO 1. Parámetros de las distribuciones posteriores y resumen de los resultados obtenidos usando el software Openbugs en Interfase con R.

Región	Grupo binomial y mejor modelo previo usado para la estimación	Alfa posterior	Beta posterior	Factor de Bayes*
BOGOTÁ	G_1 (M_2)	41,40	26,93	11271,2
	G_2 (M_4)	22,94	36,85	35,2
	G_3 (M_5)	35,93	168,42	32,5
	G_4 (M_3)	21,78	122,36	109,9
	G_5 (M_3)	21,78	122,36	109,9
	G_6 (M_3)	21,78	117,36	7,9
	G_7 (M_3)	22,78	125,36	137,0
	G_8 (M_3)	22,78	130,36	833,3
	G_9 (M_7)	17,27	35,51	7,3
	G_{10} (M_7)	22,27	40,51	25,7
	G_{11} (M_2)	34,40	20,93	50,0
	G_{12} (M_2)	34,40	22,93	18,0
	G_{13} (M_7)	15,27	28,51	1,5
	G_{14} (M_2)	37,40	25,93	122,3
	G_{15} (M_8)	25,17	169,77	39,8
	G_{16} (M_7)	15,27	29,51	2,3
COSTA ATLÁNTICA	G_1 (M_1)	31,34	33,32	142875,4
	G_2 (M_7)	26,27	58,51	33,4
	G_3 (M_3)	25,78	141,36	1265,6
	G_4 (M_3)	26,78	132,36	55,7
	G_5 (M_8)	24,17	173,77	833,3
	G_6 (M_8)	26,17	177,77	384,6
	G_7 (M_3)	23,78	124,36	66,4
	G_8 (M_8)	24,17	176,77	1428,6

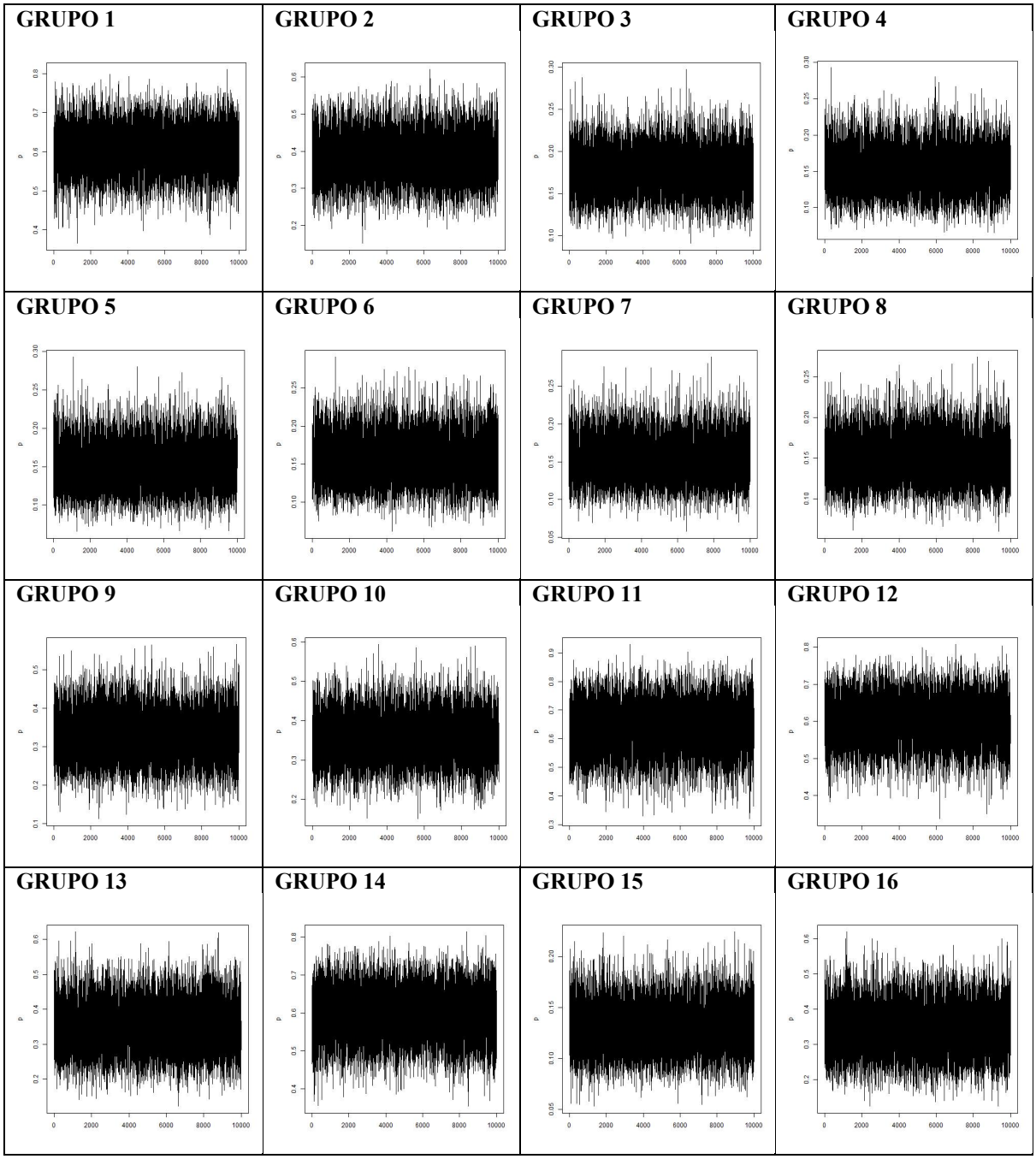
*Máximo valor observado entre las nueve comparaciones del modelo seleccionado

Ecuación utilizada para calcular el Factor de Bayes:

$$FB_{ij} = \frac{B(a_j b_j) B(x + a_i \; n - x + \; b_i)}{B(a_i b_i) B(x + a_j \; n - x + \; b_j)} \quad para \;\; i, j = 1, \ldots . 9$$

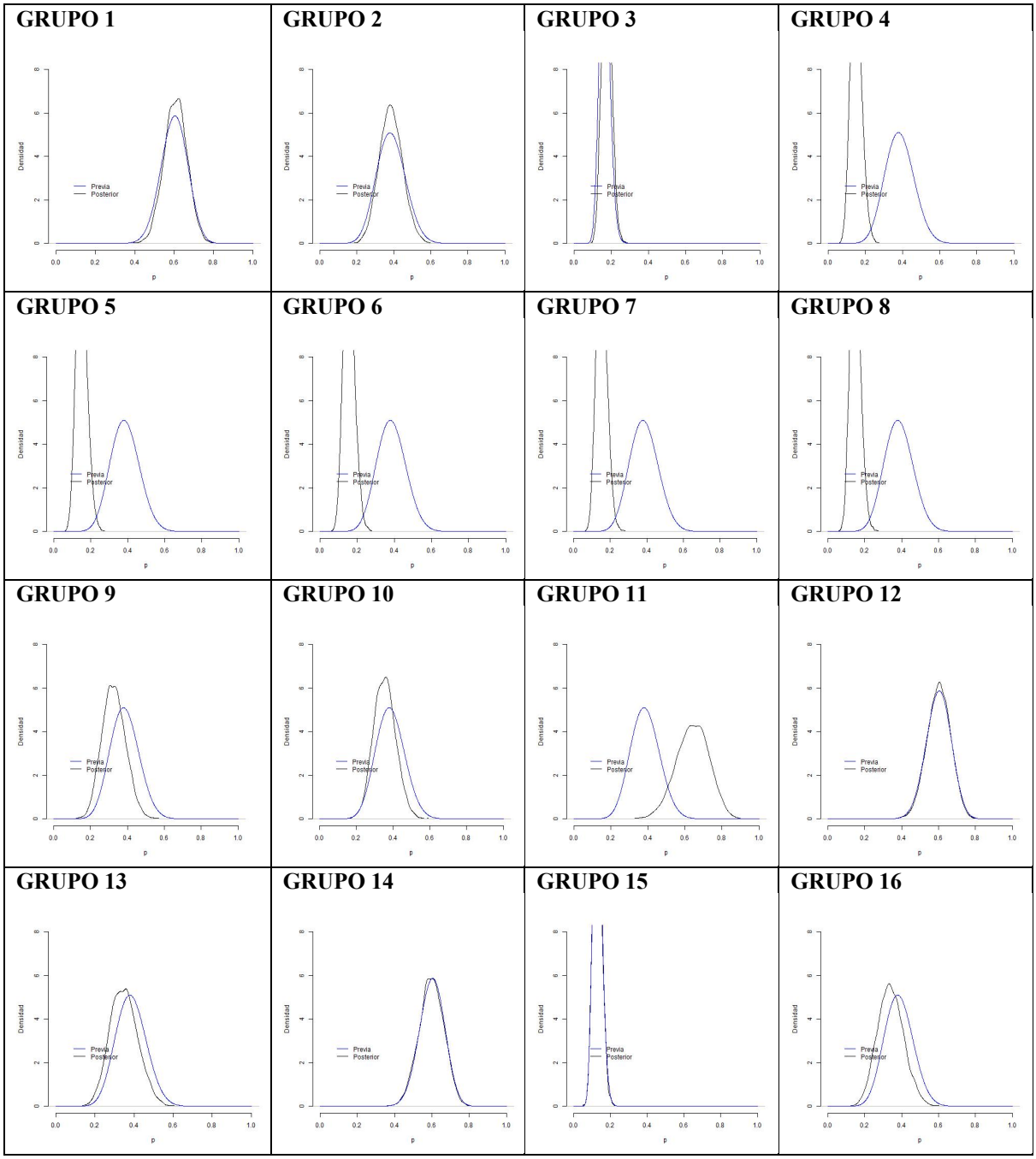
donde $B(x, y) = \frac{\Gamma(x)\Gamma(y)}{\Gamma(x+y)}$

Gráficos de convergencia (Grupos 1 - 16 Bogotá).



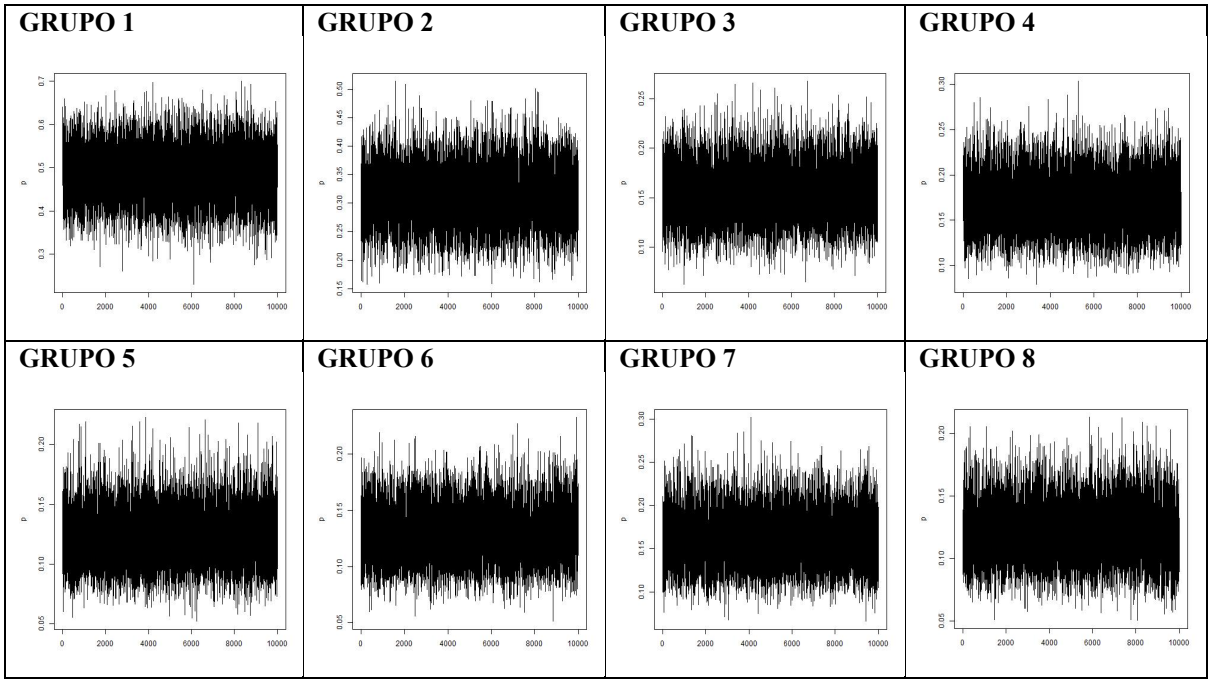
Fuente: Elaboración propia.

Gráficos de las distribucioens previas y posteriores (Grupos 1-16 Bogotá).



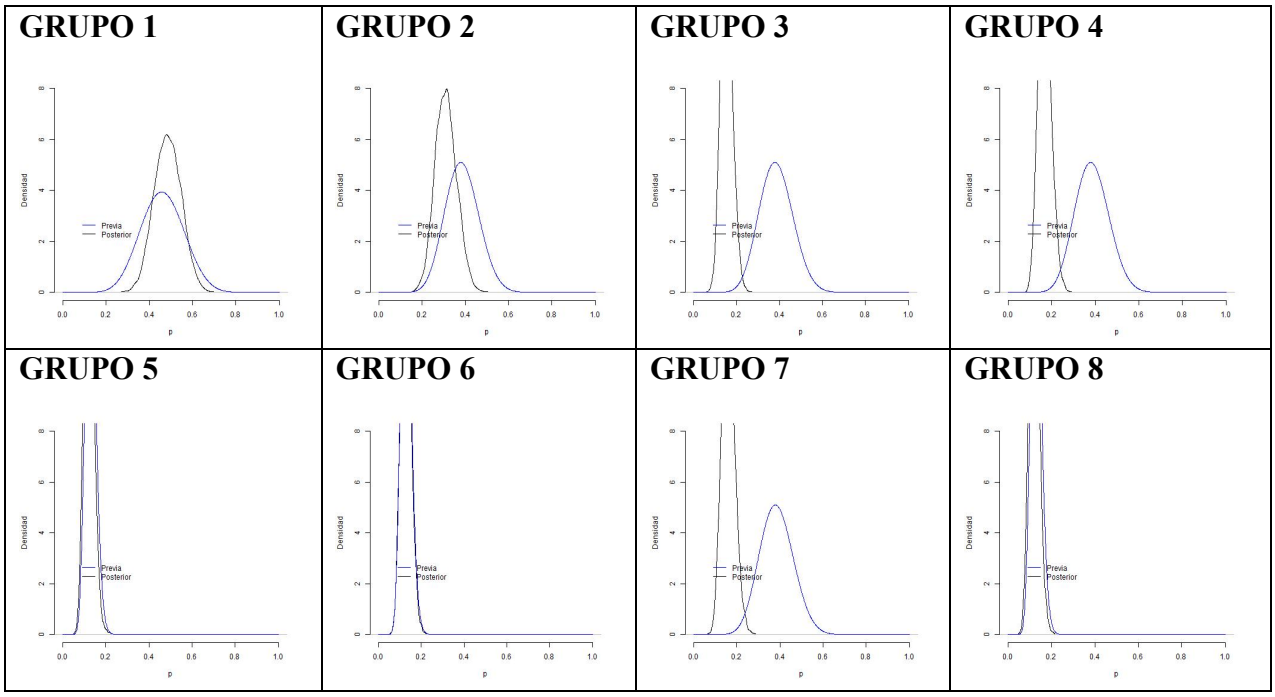
Fuente: Elaboración propia.

Convergencia Costa (Grupos 1-8)



Fuente: Elaboración propia.

Gráficos de las distribucioens previas y posteriores (Grupos 1-8 Costa Atlántica)



Fuente: Elaboración propia.

Código en R

```
install.packages(c("R2OpenBUGS", "denstrip"))
library(LearnBayes) #Predictivas
#Paso 1
library(R2OpenBUGS)

ResultadosBogotá<-function(a,b,n,x){
#Paso 2
data<-list(n=n,x=x,a=a,b=b)
#Paso 3
parametros<-c("p")
#Paso 5
sink("modelo.txt")
cat("
model{
x~dbin(p,n)
p~dbeta(a,b)
}
",fill=TRUE)
sink()
#Paso 6
F<-bugs(data=data,inits=NULL,parameters.to.save=parametros,
      model.file = "modelo.txt",
      n.iter=15000,n.burnin=5000,n.thin=10,n.chains=1)
#Cadenas
cadenas<-F$sims.list
Medidas<-F$summary
DIC<-F$DIC
#Predictiva
#Hiperparametros de la aposterior
ab<-c(data$a+data$x,data$b+(data$n-data$x))
If (i≤ 6){
#m el número futuro de muestras binomiales
m=3
#y el número de sucesos futuros
y=(0)}else {
   m = 12
   y=(0:4)
}
predictiva=1-sum(pbetap(ab,m,y))
```

```
return(list(cadenas=cadenas,Medidas=Medidas,Dic=DIC,predictiva=predictiva))}

# Implementación
#En cada uno de los siguientes vectores, hasta el sexto elemento
#es bogota, después de este es Costa
datos=list(n=c(16,21,29,5,2,9,40,12,18,15), x=c(10,8,7,3,1,1,20,0,2,0))
a=c(31.4,14.936,28.933,31.4,31.4,24.17,11.344,24.17,24.17,24.17)
b=c(20.933,23.853,146.419,20.933,20.933,161.77,13.317,161.77,161.77,161.77)
name=c("B1","B2","B3","B12","B14","B15","C1","C5","C6","C8")
Est.Desc=matrix(data=NA,nrow = 0,ncol = 7)
Est.Pred=matrix(data=NA,nrow = 0,ncol = 1)
for(i in 1:10){
##Ejemplo
R<-Resultados(a=a[i],b=b[i],n=datos$n[i],x=datos$x[i])
datos<-read.table("clipboard",header=TRUE,sep="\t",dec=".")
attach(datos)
alpha=15.4
beta=10.26666667
#Densidad aposteriori y aprior
pdf(paste("Previa-Posterior-",i,".pdf"),paper="A4")
plot(density(R$cadenas$p),main="",ylab="Densidad",xlab=expression(p),
    axes=FALSE,xlim=c(0,1),ylim=c(0,8))
lines(seq(0,1,length.out=1000),dbeta(seq(0,1,length.out=1000),a,b),col="blue")
legend(0.06,3,c("Previa", "Posterior"),col=c("blue","black"),bty="n",lty=1)
axis(1)
axis(2)
dev.off()
jpeg(paste("Previa-Posterior-",i,".jpeg"))
plot(density(R$cadenas$p),main="",ylab="Densidad",xlab=expression(p),
    axes=FALSE,xlim=c(0,1),ylim=c(0,8))
lines(seq(0,1,length.out=1000),dbeta(seq(0,1,length.out=1000),a,b),col="blue")
legend(0.06,3,c("Previa", "Posterior"),col=c("blue","black"),bty="n",lty=1)
axis(1)
axis(2)
dev.off()
#Grafico de convergencia
pdf(paste("convergencia-",i,".pdf"),paper="A4")
plot(R$cadenas$p,type="l",ylab=expression(p),xlab="")
dev.off()
jpeg(paste("convergencia-",i,".jpeg"))
```

```
plot(R$cadenas$p,type="l",ylab=expression(p),xlab="")
dev.off()
#Cadena
cadenas_R<-data.frame(p=R$cadenas$p,deviance=R$cadenas$deviance)
write.table(cadenas_R,file=paste("Cadenas-",i,".txt"))
#Resultados
write.table(R$Medidas,file=paste("Medidas",i,".txt"))
#Predictiva y Dic
write.table(data.frame(predictiva=R$predictiva,Dic=R$Dic),file=paste("Predic_DIC-",i,".txt"))}
```

#Costa Atlantica

```
install.packages(c("R2OpenBUGS", "denstrip"))
library(LearnBayes) #Predictivas
#Paso 1
library(R2OpenBUGS)
Resultadoscosta<-function(a,b,n,x){
 #Paso 2
 data<-list(n=n,x=x,a=a,b=b)
  #Paso 3
 parametros<-c("p")
  #Paso 5
 sink("modelo.txt")
 cat("
model{
x~dbin(p,n)
p~dbeta(a,b)
}
",fill=TRUE)
 sink()
  #Paso 6
 F<-bugs(data=data,inits=NULL,parameters.to.save=parametros,
       model.file = "modelo.txt",
       n.iter=15000,n.burnin=5000,n.thin=10,n.chains=1)
  #Cadenas
 cadenas<-F$sims.list
 Medidas<-F$summary
 DIC<-F$DIC
  #Predictiva
 #Hiperparametros de la aposterior
 ab<-c(data$a+data$x,data$b+(data$n-data$x))
```

```
  #m el número futuro de muestras binomiales
 m=12
 #y el número de sucesos futuros
 y=(0:4)
 predictiva=1-sum(pbetap(ab,m,y))
 return(list(cadenas=cadenas,Medidas=Medidas,Dic=DIC,predictiva=predictiva))}
datos<-read.table("clipboard",header=TRUE,sep="\t",dec=".")
attach(datos)
alpha=47
beta=55
for(i in 1:8){
 ##Ejemplo
 R<-Resultadoscosta(a=alpha,b=beta,n=datos$n[i],x=datos$x[i])
 #Densidad aposteriori y aprior
 pdf(paste("Previa-Posterior-",i,".pdf"),paper="A4")
 plot(density(R$cadenas$p),main="",ylab="Densidad",xlab=expression(p),
     axes=FALSE,xlim=c(0,1),ylim=c(0,8))
 lines(seq(0,1,length.out=1000),dbeta(seq(0,1,length.out=1000),a,b),col="blue")
 legend(0.06,3,c("Previa", "Posterior"),col=c("blue","black"),bty="n",lty=1)
 axis(1)
 axis(2)
 dev.off()
 jpeg(paste("Previa-Posterior-",i,".jpeg"))
 plot(density(R$cadenas$p),main="",ylab="Densidad",xlab=expression(p),
     axes=FALSE,xlim=c(0,1),ylim=c(0,8))
 lines(seq(0,1,length.out=1000),dbeta(seq(0,1,length.out=1000),a,b),col="blue")
 legend(0.06,3,c("Previa", "Posterior"),col=c("blue","black"),bty="n",lty=1)
 axis(1)
 axis(2)
 dev.off()
  #Grafico de convergencia
 pdf(paste("convergencia-", name[i],".pdf"),paper="A4")
 plot(R$cadenas$p,type="l",ylab=expression(p),xlab="")
 dev.off()
  jpeg(paste("convergencia-", name[i],".jpeg"))
 plot(R$cadenas$p,type="l",ylab=expression(p),xlab="")
 dev.off()
  #Cadena
 cadenas_R<-data.frame(p=R$cadenas$p,deviance=R$cadenas$deviance)
 write.table(cadenas_R,file=paste("Cadenas-", name[i],".txt"))
```

#Resultados

write.table(R$Medidas,file=paste("Medidas", name[i],".txt"))

#Predictiva y Dic

write.table(data.frame(predictiva=R$predictiva,Dic=R$Dic),file=paste("Predic_DIC",name[i],".txt"))

Est.Desc=rbind(Est.Desc,R$Medidas)

Est.Pred=rbind(Est.Pred,data.frame(predictiva=R$predictiva,Dic=R$Dic,a=R$ab[1],b=R$ab[1]))}

write.xlsx(x=round(Est.Desc,4), file="Resutados.xlsx",sheetName ="Descriptivas",col.names = TRUE, row.names = TRUE,append = TRUE)