

Impacto de la inversión en inteligencia artificial en el crecimiento de la economía de Alemania: Un análisis comparativo con Francia entre 2013 y 2022

Impact of investment in artificial intelligence on the economic growth of Germany: A comparative analysis with France between 2013 and 2022

Zeus Grafe Pérez

Universidad Central de Venezuela (Venezuela)

<https://orcid.org/0009-0009-7798-6393>

zeus.z.grafe@ucv.ve

RESUMEN

En el marco de la revolución tecnológica contemporánea, la inteligencia artificial (IA) toma un papel en la vida cotidiana de los agentes económicos. Alemania y Francia, dos potencias europeas, han experimentado esta transformación recientemente. La IA ha permeado los sectores productivos, impulsando la eficiencia económica y la producción, por lo que se presenta como un catalizador de la innovación y la competitividad, optimizando procesos y generando valor agregado en la economía de estos países. Mediante un enfoque cuantitativo, se analiza la contribución de la IA en la producción y su integración con la misma, para poder entender la posición de Alemania frente a Francia en términos de adopción tecnológica y su impacto en el crecimiento de la economía de Alemania. Los resultados muestran que, como Alemania invierte más en IA que Francia en términos absolutos y relativos, y como la inversión en estas tecnologías por sector económico se adapta a la variación del PIB por industria, el país germano creció un 4% más que Francia entre 2013 y 2022, por lo que se muestra un impacto en el diferencial de crecimiento ocasionado por la inversión en IA.

PALABRAS CLAVE

Inteligencia Artificial; Progreso Técnico; Productividad; Crecimiento económico.

ABSTRACT

Within the context of the contemporary technological revolution, artificial intelligence (AI) assumes a significant role in the daily lives of economic agents. Germany and France, two European powerhouses, have recently undergone this transformation. AI has permeated productive sectors, driving economic efficiency and production, thereby serving as a catalyst for innovation and competitiveness. It optimizes processes and generates added value in the economies of these nations. Employing a quantitative approach, the contribution of AI to production and its integration therein is analyzed to comprehend Germany's stance relative to France in terms of

technological adoption and its impact on Germany's economic growth. The findings indicate that Germany's investment in AI—both in absolute and relative terms—exceeds that of France. Furthermore, as the investment in these technologies by economic sector aligns with the variation in GDP by industry, Germany experienced a 4% higher growth than France between 2013 and 2022, thus demonstrating an impact on the growth differential caused by the investment in artificial intelligence.

KEYWORDS

Artificial Intelligence; Technical Progress; Productivity; Economic Growth.

Clasificación JEL: O33, C31.

MSC2010: 91B62, 91B74

1. INTRODUCCIÓN

En los últimos años, los avances tecnológicos han sido objeto de estudio en la teoría económica moderna para explicar el crecimiento económico, tanto en el corto como en el largo plazo. En la década presente, la Inteligencia Artificial (IA) se ha ganado la atención tanto del público en general como de las empresas y gobiernos, dada las bondades que esta posee en sus múltiples usos y su nivel de aplicación en los sectores económicos, incluso los que no son intensivos en capital y tecnología.

Si bien la IA no es propia de esta década, en los últimos treinta años los avances en la tecnología han dejado una huella en el pensamiento y el quehacer de la humanidad, pues se adoptó el uso de tecnología de todo tipo para actividades humanas cotidianas. Además, las empresas han aprovechado dichos avances para innovar y optimizar la forma de producir y realizar las actividades ordinarias, a fin de ser más competitivas y de satisfacer las necesidades del consumidor.

Es sabido entonces, que el uso de la tecnología revolucionó al mundo, partiendo desde la primera revolución industrial con el uso del carbón y la máquina de vapor en las fábricas, pasando por la segunda revolución industrial con el descubrimiento del gas y el petróleo, la tercera con la energía nuclear y electrónica, y la última, en la actualidad, con la creación de las computadoras modernas, energías renovables y la IA. Si bien esta última posee variedades para distintos usos, tanto en entretenimiento como en producción, así como, en educación, salud, farmacia, comercio, transporte, entre otros, también se observa el uso en el sector público, especialmente en aquellos países desarrollados o cuyos gobiernos poseen planes de desarrollo en sus agendas.

Para desarrollar tecnologías basadas en IA, se debe invertir en ella, la cual, como cualquier otra inversión, posee impacto en la actividad económica, no solo porque forma parte de la inversión bruta, la cual incide directamente en el Producto Interno Bruto (PIB), sino porque las mejoras tecnológicas que posee la IA afectan directa e indirectamente en la producción. El uso de aplicaciones con IA, la identificación de patrones de mercado con tecnologías IA y demás usos que se puede hacer con ella, generan oportunidades para el sector público y privado, las cuales permiten expandir el impacto de las políticas y operaciones respectivamente, al conocer mejor el mercado, localizar zonas donde se requiera implementar políticas económicas o sociales y optimizar procesos que mejoren la producción y ventas de bienes y servicios.

Por estos motivos, el presente trabajo busca realizar un estudio para medir el efecto que posee la inversión en IA en el crecimiento de la economía de Alemania, y así, medir de forma cuantitativa, si existe impacto sobre la economía y dar pie al entendimiento de posibles relaciones de causa-efecto entre ambas variables. Para ello, el trabajo se estructura de la siguiente manera: Se realiza primero un análisis preliminar acerca de la inversión y el crecimiento de la economía de Alemania, luego se replica el estudio con Francia y se elabora un análisis comparativo en términos de crecimiento de la economía, inversión en IA y la composición de ambas variables, a

fin de determinar posibles relaciones explicativas dentro de las posibles relaciones de causalidad. Por último, se realiza un modelo econométrico para evaluar el impacto a nivel cuantitativo de la inversión en IA en el crecimiento de la economía y poder brindar con evidencia empírica, conclusiones sobre esta relación, así como un marco de asuntos de ética que permitan recomendar usos adecuados de IA para colaborar con el crecimiento de la economía.

2. PLANTEAMIENTO DEL PROBLEMA

Durante los últimos años, el uso del Big Data y de la IA ha revolucionado la tecnología y la forma de hacer negocios en los mercados mundiales, e incluso, estas prácticas han sido adoptadas por el sector público en algunos países europeos, como Alemania, el cual, ha colaborado en la toma de decisiones y en la adaptación digital bajo la figura de gobierno digital.

Por otro lado, la función de producción de tipo Cobb-Douglas toma la productividad total de los factores (PTF) como parámetro que influye en la capacidad de crecimiento de un país. De hecho, de acuerdo a un estudio hecho por Bernal y Reyes (2010), el estudio de esta variable es precario y no posee teorías desarrolladas, a pesar de su importancia, y potencia más del 80% del crecimiento económico en los países desarrollados y cerca del 40% en los del tercer Mundo. En esta variable, se toma en cuenta los avances tecnológicos y el impulso que este tiene sobre los factores tradicionales (capital y trabajo).

Asimismo, de acuerdo a David Romer (1997), si el progreso técnico estimula el crecimiento y se produce de forma endógena, el aumento de los recursos que la economía dedica al progreso tecnológico producirá una elevación del crecimiento a largo plazo, por lo cual, dado que la IA es considerada como progreso tecnológico, es de esperarse que el incremento en el uso de ésta, dada una previa inversión, estimule la productividad para efectuar el crecimiento de la economía.

De acuerdo a Solans (2009), gracias a la tecnología disponible, la inteligencia se aplicará a la captación de datos a través de sistemas de sensores. Este proceso de captación de datos y su uso para conocer las tendencias y gustos del mercado y de los consumidores, representa una oportunidad para las empresas para conocer con más claridad qué vender y a quiénes vender, como se establece en la definición básica de economía.

El uso de las tecnologías basadas en IA, además de tener efecto sobre las empresas al ahorrar tiempo y generar nuevos productos, también genera efectos en la sociedad. De hecho, hoy en día, los humanos dependen de la IA, ya que está presente en las plataformas bancarias, en los teléfonos celulares, en el sector salud, e incluso en el sector automovilístico, siendo empleados hoy en día en casi todos los sectores económicos.

Considerando que los avances tecnológicos poseen impacto en la producción de los bienes y servicios de acuerdo a la teoría microeconómica y que la macroeconomía se fundamenta en la microeconomía, pues de acuerdo a Garin et al. (2019) “toda economía es microeconomía... un gran logro de la economía en los últimos cuarenta años, ha sido incorporar estos fundamentos microeconómicos en modelos diseñados para responder cuestiones macroeconómicas” (p. 180). Considerando que los avances en IA se encuentran dentro de los avances tecnológicos, se medirá cual fue el impacto de inversión en IA para el crecimiento del producto, y en qué sectores económicos se ha invertido en IA para explicar a nivel teórico el crecimiento de la economía.

3. PROGRESO TÉCNICO E INTELIGENCIA ARTIFICIAL

En 1927, Paul Douglas y Charles Cobb, diseñaron una función matemática que expresa a la producción como el producto de los factores tradicionales (capital y trabajo) elevados a un coeficiente que representa su elasticidad. Posteriormente, con el avance en la teoría económica, se agregó el efecto de los avances tecnológicos y del progreso técnico sobre la producción a través de la PTF, la cual, explica el crecimiento de la economía en un 30% (Abdala et al., 2016).

La teoría microeconómica, incluye en los avances tecnológicos todo lo relacionado a las nuevas aplicaciones a nivel de maquinaria física e innovación a la tecnología existente, e incluía su impacto en la producción empresarial (Nicholson, 2008). La micro-fundamentación de la macroeconomía, formalizada por la Nueva Economía Keynesiana, copió las mismas características de esta variable en los indicadores macroeconómicos. Sin embargo, en la actualidad, se cuestiona sobre la inclusión de los avances de la IA dentro de la variable de progreso técnico. De hecho, un estudio realizado por Accenture en 2016, considera incluir a los avances en IA dentro de una nueva variable que tenga afectación sobre los factores y sobre la PTF (Purdy & Daugherty, 2016).

De acuerdo al Centro de Implementación de Políticas Públicas para la Equidad y el Crecimiento (“CIPPEC”), la IA forma parte de una cuarta revolución industrial, a través de la implementación de programas informáticos que automatizan tareas, previamente hechas por humanos (haciendo más productivo al factor trabajo) e igualmente, a través de la creación de robots con capacidad de aprendizaje (un factor capital más productivo) (Abdala et al., 2016). Así mismo, la Corporación Andina de Fomento [CAF] (2021) mencionó que entre las ventajas de la adopción de la IA en el sector público implicaba mejorar la productividad mediante un procesamiento veloz de datos, la optimización de trabajos y reducción de costos, puesto que la IA permite a las organizaciones reorganizar su trabajo de a fin de aprovechar las características únicas de las personas y las máquinas.

La adopción de las tecnologías de IA no solo permite la optimización de la producción de bienes físicos en el ámbito privado, sino que también colaboran al sector público en optimizar sus procesos de servicios. En un estudio de Kouziokas (2017) acerca de la mejora en la calidad del transporte público en Grecia, se determinó que el Gobierno decidió aplicar modelos predictivos basados en IA, específicamente redes neuronales, con el fin de identificar las regiones con altas concentraciones de incidentes delictivos y así, elaborar políticas para mejorar la seguridad de los ciudadanos que circulan por la zona y de quienes emplean el transporte público como método de traslado.

Del mismo modo, en un informe de la CAF: “Datos e IA En El Sector Público”, se menciona que la Agencia Tributaria Canadiense (CRA) invirtió en el desarrollo de tecnologías basadas en IA para identificar fraudes fiscales y realizar investigaciones para control tributario e identificaciones de riesgos fiscales. Sobre el desarrollo de este programa, la CAF (2021) considera, en cuanto al uso de datos e IA para el sector público, que se están creando ciclos de retroalimentación, evidenciando la efectividad de las tecnologías basadas en IA para promover el éxito operativo.

La firma Accenture, en un informe del año 2016, pronosticó el tamaño de la economía alemana para el 2035 junto a la inversión esperada en tecnologías de IA, la cual estiman en un billón de dólares, destacando que el mayor uso de esta tendencia se manifestaría en el sector manufactura, e indicando que al menos el 22 % de la economía sería explicada por el uso de IA en la producción pública y privada. De hecho, de acuerdo al portal Deutsche Welle, el Gobierno alemán tiene previsto invertir al menos tres billones de euros hasta el 2025 en tecnologías basadas en IA para impulsar sus sectores económicos, en especial sus sectores manufactureros, industriales y energéticos (Deutsche Welle., 2019).

La IA incrementaría la PTF de forma modesta de acuerdo a Acemoglu (2024) que predice que “los aumentos en la productividad total factorial derivados de la inteligencia artificial en los próximos 10 años son aproximadamente del 0,66 %” (p. 29). La explicación radica en que parte del stock de capital a invertir se destina a la IA, y esta se encarga de apalancar el stock de capital ya existente para mejorar la productividad, sin embargo, la proporción depende del enfoque de las tareas efectuadas por la IA.

El enfoque basado en tareas, establece que la IA se encarga de elaborar tareas que permiten incrementar la productividad. Estas tareas pueden ser de fácil o difícil ejecución, y permiten reducir costos por errores humanos y por incrementar la velocidad con que se atienden requerimientos, pues dentro de las tareas de la IA no sólo se encuentra la labor generativa, sino también las relacionadas a los servicios al cliente, provisión de información, o identificación de patrones de consumo, que permiten optimizar los procesos operativos y los servicios que ofrecen las empresas y el sector público.

Las ganancias en términos de productividad que son generadas por la IA en la producción de bienes y servicios están ocasionadas por cuatro vías principales: la automatización de tareas, que permite reducir costos y acelerar los tiempos de respuesta de algunas tareas, complementariedad con labores humanas, que permiten mejorar la eficacia de la labor de la fuerza de trabajo, y nuevas tareas derivadas de la existencia de la IA (Acemoglu, 2024, p. 2).

Algunos campos laborales serían desplazados por la adopción de la IA en tareas humanas, pero al mismo tiempo, surgirán nuevos puestos de trabajos que requieran complemento con el mantenimiento y uso de las nuevas tecnologías de acuerdo a Weller (2019). Como evidencia de lo anterior, en Alemania, se crearon 93,000 robots para la industria automotriz entre 2010 y 2015, pero también se crearon nuevos puestos de trabajo que ascendieron de 93,000 a 813,000 (Weller, 2019), mostrando además una baja en la tasa de desempleo en un 7.7% de acuerdo a cifras del Banco Mundial. Así mismo, durante esos años, el crecimiento económico se mantuvo en un promedio de 2% a 3% anual de acuerdo a las cifras del Banco Mundial (2022).

4. PREGUNTA DE INVESTIGACIÓN

¿La inversión en IA ha potenciado el crecimiento del PIB de Alemania por encima de Francia entre 2013 y 2022? ¿A qué factores puede deberse?

5. METODOLOGÍA ECONÓMETRICA

Esta investigación es correlacional, ya que, para entender el impacto de la inversión en IA sobre el PIB, se debe estudiar cuál es la correlación entre ambas variables. Además, un estudio correlacional “tiene como finalidad conocer la relación y el grado de asociación que existe entre dos o más variables en una muestra” (Hernández Sampieri & Baptista, 2014, p. 93).

Lo primero es realizar un estudio comparativo entre el caso Alemania en contraposición a Francia para estudiar el comportamiento de la inversión en IA en ambos países y su relación con el PIB, así como ver la composición de esta inversión y del PIB en ambos países. Así mismo, se verificará el supuesto de tendencias paralelas y, posteriormente, realizar un análisis estadístico descriptivo a modo de comparación. Posteriormente, se procede a estimar la medición econométrica.

Para integrar los efectos de la IA en la producción, se elabora un modelo de regresión del tipo diferencias en diferencias entre 2007 y 2022. De este modo, se está evaluando el comportamiento del PIB entre 2007 y 2012 (período previo al tratamiento) y posteriormente entre 2013 y 2022 (período posterior al tratamiento).

Para realizar la parametrización y el modelo, lo primero es realizar un análisis exploratorio de datos para verificar la tendencia y formas de asociación entre variables. Posteriormente, se elabora el modelo econométrico del tipo diff-in-diff a través de la selección entre tres modelos a estimar: pooled, efectos fijos y efectos aleatorios, y a través del test pooling y test de Hausman se determina el modelo adecuado para la elección (Romero & Mendoza, 2016, p. 314).

Si dicho modelo cumple con los resultados esperados en los test del párrafo anterior, se tiene un resultado más robusto para la construcción del modelo con las variables de interés, pues este modelo de carácter instrumental sirve para medir cuantitativamente el nivel de causalidad entre las variables y podrá aproximar el efecto que tuvo la inversión en IA sobre el crecimiento del PIB en Alemania. Posterior al análisis econométrico, se discute sobre los hallazgos y algunas aproximaciones a la ética de la IA como complemento. Lo obtenido en los resultados y lo argumentado en los hallazgos son determinantes de recomendaciones finales.

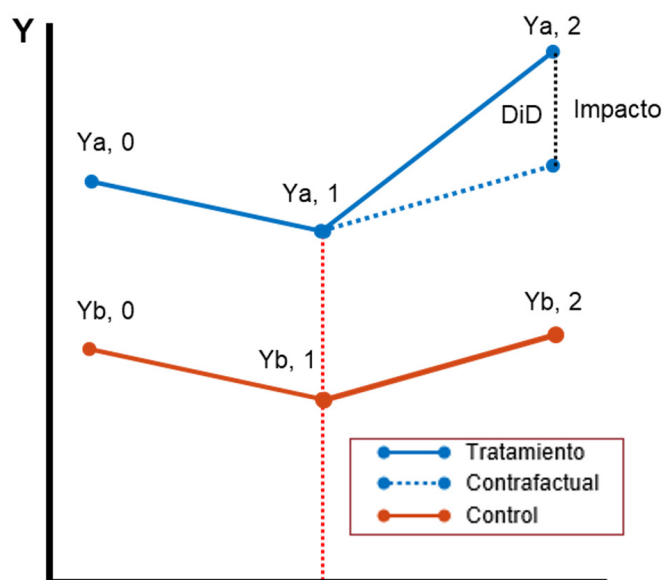
5.1. Diferencias en Diferencias

El método diferencias en diferencias (“DID”) consiste, de acuerdo a Greene y Sánchez (1999), en estudiar el impacto de un fenómeno en un grupo de tratamiento y compararlo en un grupo de con-

trol entre tres o más períodos, donde ambos grupos deberán tener un comportamiento tendencial similar (llamado “supuesto de tendencias paralelas”). Así, se evalúa el efecto del fenómeno a estudiar en un grupo que recibió el tratamiento comparado a un grupo similar que no lo recibió.

La Figura 1 muestra una simulación del método diff-in-diff, se evidencia que, el grupo “a” (tratamiento) posee una tendencia paralela respecto al grupo “b” (control) en los períodos previos al efecto. Posterior al fenómeno, las tendencias divergen, ya que el valor de la variable Y para el grupo “a” se aleja del contrafactual. Esta diferencia representa el impacto del efecto sobre el grupo de tratamiento en comparación al grupo de control. Por lo tanto, el método de diff-in-diff mide la diferencia en la variación de los datos de los dos grupos entre dos períodos de tiempo.

Figura 1: Método Diferencias en Diferencias



Fuente: Elaboración propia

Esto se mide en un modelo clásico de regresión lineal compuesto por dos variables dicotómicas, una tomará el valor de 1 para el grupo de tratamiento y 0 para el grupo de control, mientras que la segunda, tomará el valor de 1 para el período post-tratamiento y 0 para el período pre-tratamiento. Matemáticamente, el modelo se expresaría como sigue:

(1)

$$y_{i,t} = \beta_0 + \beta_1 \text{Trat}_{i,t} + \beta_2 \text{Post}_{i,t} + \beta_3 \text{Trat}_{i,t} * \text{Post}_{i,t} + \varepsilon_{i,t}$$

Donde “Trat” representa la variable dicotómica asociada al grupo, “Post” la variable dicotómica asociada al período, “y” la variable dependiente cuyo impacto se desea evaluar, “épsilon” representa el término de error, mientras que el producto Trat x Post representa la variable asociada al impacto. Esto se puede corroborar ya que el tratamiento matemático para el método diff-in-diff es el siguiente:

(2)

$$DiD = (Y_{trat,2} - Y_{trat,1}) - (Y_{cont,2} - Y_{cont,1})$$

Donde Y representa la variable a estudiar para los grupos de tratamiento y control (para los subíndices “trat” y “cont”) en los períodos posteriores y previos al tratamiento (subíndices 2 y 1), por lo tanto, el diff-in-diff estudia la diferencia de la variación de la variable de estudio entre ambos grupos. Si se sustituye (1) en (2) y se le asigna los valores de 0 y 1 a las variables “trat” y “post” para los grupos y períodos correspondientes:

$$DiD = ((\beta_0 + \beta_1 + \beta_2 + \beta_3) - (\beta_0 + \beta_1)) - ((\beta_0 + \beta_1) - (\beta_0)) = \beta_3$$

En este sentido, el coeficiente de impacto es β_3 , por lo que, si este es estadísticamente significativo, se asumirá que hubo impacto significativo del efecto sobre la variable dependiente, en este caso, de la inversión en IA sobre la economía de Alemania. De acuerdo a Brumback (2022) solamente importa la significancia de este coeficiente en el modelo para evaluar si hubo impacto significativo en el tratamiento.

A pesar de la simplicidad del modelo, limitado a variables dicotómicas para la estimación, Cunningham (2021) y Huntington-Klein (2022) recomiendan introducir variables de control al modelo, las cuales deben estar relacionadas con el efecto. Así mismo, mencionan que el método adecuado y el más común para correr este modelo es el método de efectos fijos, lo que requiere emplear econometría de datos de panel.

Para elaborar el modelo DID asociado al estudio, se elige como grupo de control a Francia, ya que es la economía europea más parecida a la economía de Alemania de acuerdo al Banco Mundial (2022) y son a su vez las dos economías más grandes de la Unión Europea. Asimismo, comparten fronteras, lo que da lugar a que posean características comerciales e industriales en común, y la estructura económica de ambos países es similar, lo cual lo convierte en el país más propicio para hacer comparaciones económicas, sociales y tecnológicas con Alemania.

Posteriormente, se deben correr tres modelos, uno pooled, uno de efectos fijos y uno de efectos aleatorios, y se emplearán el test pooled y el test de Hausman para elegir al modelo con los estimadores más consistentes y robustos, el cual será el modelo para el estudio del diff-in-diff.

Luego de realizado el modelo, y posterior al análisis del test F y los test t para determinar la significancia conjunta e individual respectivamente se procede a realizarle los test de validación. Específicamente se aplica, primeramente, el test de validación del modelo de datos de panel, luego se realizarán los test de normalidad en los errores, multicolinealidad, heterocedasticidad y autocorrelación. Finalizando con la aplicación del test de placebo para determinar que no exista falsos efectos DID.

5.2. Alcances y Limitaciones

La serie de tiempo empleada para el análisis comprende desde 2007 a 2022, donde se medirá como período pre-tratamiento entre 2007 y 2012 y período post-tratamiento entre 2013 y 2022. Por lo tanto, la variable instrumental (inversión en IA) estará presente desde 2013 hasta 2022. Cabe señalar que dichos datos son medidos por el Laboratorio de IA de la Universidad de Stanford desde 2017 con datos a partir de 2013. Por lo tanto, el tamaño de la muestra es pequeño, lo cual dificulta establecer relaciones sólidas de causalidad y muestra únicamente el impacto de la variable de tratamiento sobre la variable dependiente.

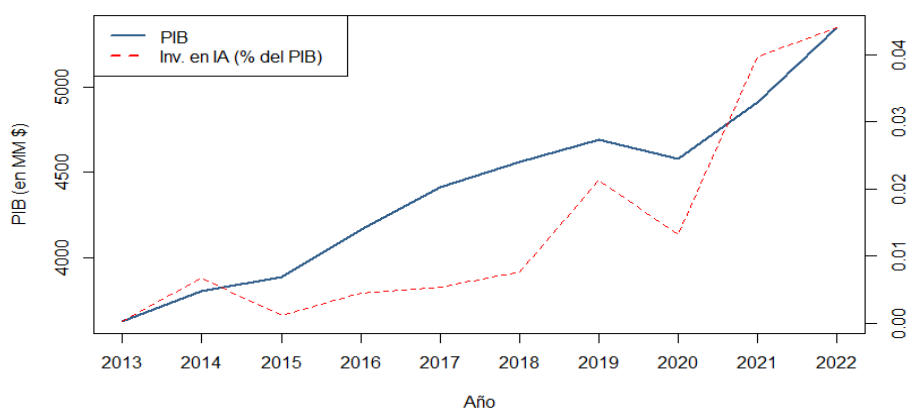
No existen antecedentes académicos sobre el tema a tratar a nivel de medición econométrica de impacto dado que el ámbito de estudio está adquiriendo relevancia en la contemporaneidad. Además, la información que se maneja sobre el impacto del IA en la economía es estrictamente deductiva, es decir, no se tiene hasta la fecha una teoría económica que establezca la relación entre la IA y la producción o los factores. Por lo tanto, las conclusiones que deriven de los resultados se realizarán con la información que se tiene de avances tecnológicos en la teoría económica y cómo la IA ayuda a las empresas y gobiernos a optimizar su actividad a través del análisis deductivo.

A pesar de la carencia de antecedentes académicos directos, el estudio presenta la oportunidad de establecer un precedente en la relación empírica entre la IA y el crecimiento de la economía, tal que se puedan elaborar trabajos académicos en el futuro para investigar con mayor amplitud las relaciones de causalidad entre ambas variables, y así, determinar oportunidades en política económica para promover el crecimiento del PIB a través de la IA. Además, presenta la oportunidad para estudiar relaciones en el largo plazo para estimar los efectos sobre el crecimiento económico y las variables que en este influyen.

6. ESTUDIO COMPARATIVO

Se toma como muestra a Alemania y Francia, que son el séptimo y noveno país que más invierten en IA respectivamente de acuerdo al AI Index Report (2023), así como los países de estudio. La Figura 2 muestra la evolución del PIB real de Alemania entre 2013 y 2022, el cual muestra un incremento de 47% en nueve años, pues pasó de USD 3.629 Bill. a USD 5.347 Bill. en ese período. Por otro lado, también muestra la evolución del aporte de la inversión en IA sobre el PIB en el mismo período, mostrando que pasó de ser de 0.0003% del PIB a 0.04% del mismo en nueve años, lo que muestra que la IA ha aumentado su participación sobre la actividad económica.

Figura 2: Alemania – PIB vs Inversión en IA (2013–2022)



Fuente: Cálculos propios con data del FMI y del AI Index Report (2023)

La Tabla 1 muestra el coeficiente de correlación entre el aporte al PIB de la inversión en IA y el PIB para Alemania y Francia en el mismo período. Se observa que los coeficientes de correlación calculados con base en los métodos de Pearson, Kendall y Spearman muestran una correlación estrecha entre ambas variables, pues para ambos países y en cada tipo de coeficiente, la correlación es superior a 0.84 en un rango de 0 a 1. Estadísticamente, el resultado señala que existe correlación entre el incremento al aporte de la IA en el PIB y el crecimiento del PIB mismo, lo que da la posibilidad de que exista incidencia de la primera sobre la producción de Alemania y Francia.

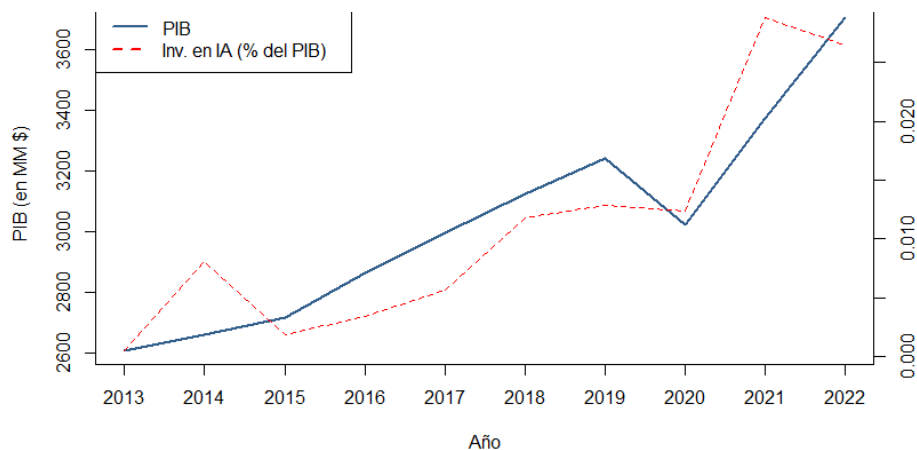
Tabla 1: Correlación entre PIB y aporte de la IA al PIB por país

País	Coef. de Pearson	Coef. De Kendall	Coef. De Spearman
Alemania	0.846	0.882	0.956
Francia	0.905	0.846	0.950

Fuente: Estimaciones propias

La Figura 3 muestra la evolución del PIB real de Francia entre 2013 y 2022, el cual muestra un incremento de 42% en nueve años, pues pasó de USD 2,609 Bill. a USD 3,704 Bill. en ese período, por lo que Alemania presentó 5% de crecimiento por encima de Francia entre 2013 y 2022. Del mismo modo, también se muestra la evolución del aporte de la inversión en IA sobre el PIB en el mismo período, mostrando que pasó de ser de 0.0005% del PIB a 0.026% del mismo en nueve años, lo que muestra que la IA ha aumentado su participación sobre la actividad económica a niveles inferiores con respecto a Alemania.

Figura 3: Francia – PIB vs Inversión en IA (2013-2022)



Fuente: Cálculos propios con data del FMI y del AI Index Report (2023)

Estas comparaciones entre la evolución del crecimiento del PIB y el crecimiento de la inversión en IA muestran que, a medida que la inversión en IA se incrementa, lo hace también el PIB, con excepción de los períodos donde se presentó el efecto pandemia del COVID-19. Con estos datos, se puede entonces realizar una extrapolación para el caso de Alemania. Tanto en Alemania como en Francia, se evidenció una relación positiva entre el crecimiento del PIB y la inversión en IA. Por lo cual, se puede deducir que esta última variable puede dar explicación parcial al crecimiento del PIB de Alemania.

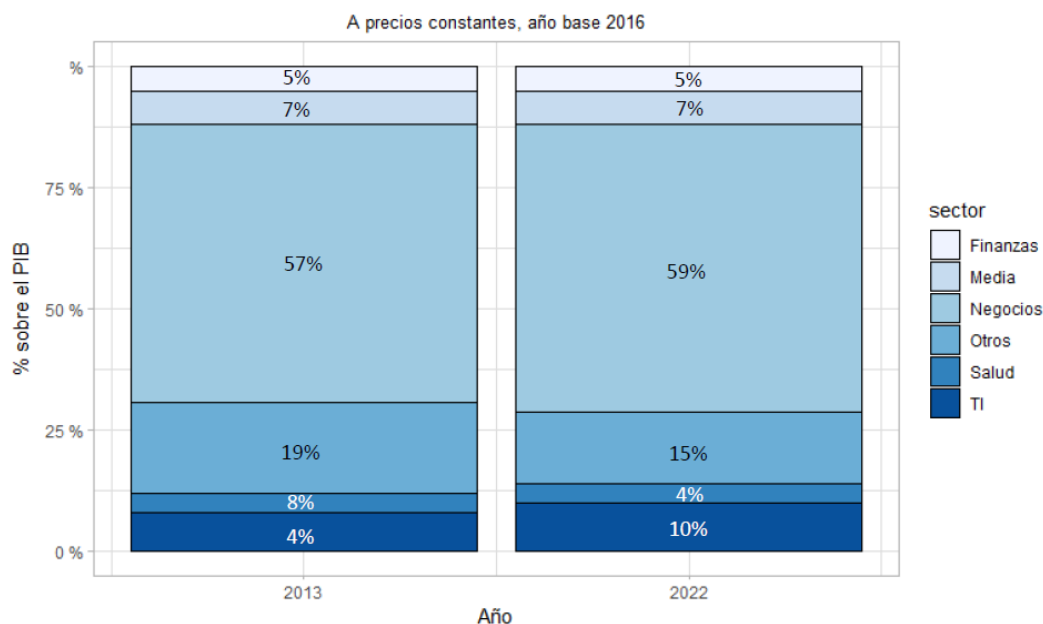
El movimiento del PIB de Francia es similar al movimiento del PIB de Alemania, de hecho, de acuerdo a Aldcroft y Morewood (2013), desde el período de la postguerra, ambas naciones compartieron políticas y fenómenos económicos como pérdida de inversión extranjera e incremento de inversión nacional, surgimiento de nuevas industrias, desarrollo del sistema educativo y posicionamiento político en Europa, lo cual explicaría el grado de similitud en el resultado de los flujos y movimientos en la economía, principalmente en el PIB y en la tasa de inflación. Además, ambos países comparten fronteras, lo que da lugar a que posean características comerciales e industriales en común.

De acuerdo a datos del Observatorio de Políticas para la IA de la Organización para la Cooperación y el Desarrollo Económico [OCDE] (2022), el 40% de la inversión total en IA en Alemania se destinó a proyectos relacionados con la educación, el 12.85% se destinó a plataformas digitales, el 7.5% se destinó a hardware y robótica, la misma proporción se destinó a la mejora de procesos financieros y aseguradores, mientras que el 9.82% se destinó al segmento de tecnología de la información y servidores.

La inversión en estos procesos puede representar un elemento multiplicador en el largo plazo, puesto que, por un lado, el gasto en educación para la IA generaría formación de masa laboral del sector que, como se vio en la Figura 3, se encuentra en expansión, pero por otra parte, los gastos en IA en los demás sectores económicos, genera también un efecto de mejora de productividad en estos segmentos, ya que la productividad de las empresas hoy día se beneficia del elemento tecnológico que ahora emplea IA.

Analizando los sectores económicos que mayor peso aportan al PIB de Alemania, se tiene que, de acuerdo a la Figura 4, el sector de servicios de negocios y manufactura aportan el 57% del PIB en 2015 y se incrementó hasta el 59% en 2022, mientras que, el sector finanzas, que se compone del sector bancario, seguros y bolsa, aportó directamente el 5% al PIB entre 2015 y 2022, siendo además, de acuerdo a la teoría financiera, el sector que aporta la intermediación financiera a los demás sectores económicos para el crecimiento de los mismos.

Figura 4: Composición del PIB de Alemania



Statistisches Bundesamt, cálculos propios

El sector media, compuesto por comunicación, medios digitales y publicidad, aporta un 7% al PIB entre 2015 y 2022, mientras que el sector de tecnologías de la información ("TI") pasó de aportar el 4% en 2015 al 10% en 2022, es decir, un incremento en la participación de este sector en la actividad económica. El sector salud aporta el 4% al PIB mientras que los demás sectores económicos aportan el porcentaje restante.

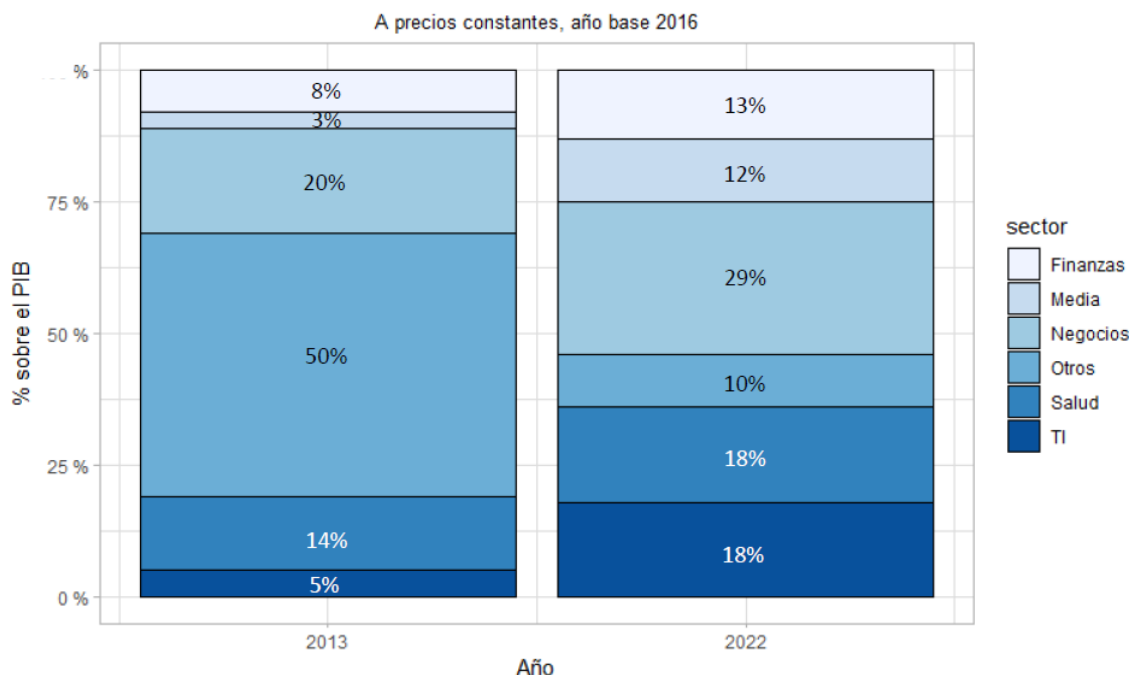
Los datos reflejados en la Figura 4 muestran que los sectores más relacionados con la tecnología son los que más incrementaron su participación en el PIB, pues TI es proveedor de los demás sectores económicos y emplea IA para sus quehaceres, mientras que, en los últimos años, el mundo de los negocios ha adoptado herramientas digitales con apoyo en la IA para el desarrollo y ofrecimiento de sus productos y servicios, tanto en consultoría como en desarrollo de negocios.

Cabe señalar que el sector TI emplea IA para distintos fines. Por ejemplo, no solo el gasto que requieren para Big Data dado el volumen de datos que este sector maneja, sino también cómo emplea los modelos y algoritmos de Machine Learning y el uso que le dan a los softwares de IA para la operatividad tanto interna como externa. Así como también para el resguardo y seguridad tanto de los datos que maneja el sector como también para la seguridad física que las empresas de este segmento emplean, a través de los equipos tecnológicos que utilizan IA.

Conociendo la capacidad de aporte a la economía que poseen estos sectores económicos, y conociendo, además, cual es el aporte en inversión en IA que estos sectores reciben, se puede visualizar la relación entre ambas e inferir cual sería el movimiento esperado en la producción y productividad de estos sectores económicos ante un shock en la inversión en IA destinadas a estos segmentos, especialmente cuando el shock es positivo

La Figura 5 muestra cuales son las principales industrias a donde se destina la inversión en IA, arrojando que, para 2015, el 50% de la inversión en IA se distribuía entre los sectores financieros, salud, TI, negocios y media. Con el pasar de los años, se generó una concentración en inversión en el sector finanzas y negocios y un crecimiento en la participación del sector media en esta inversión.

Figura 5: Composición de la Inversión en IA en Alemania



Fuente: OCDE, cálculos propios

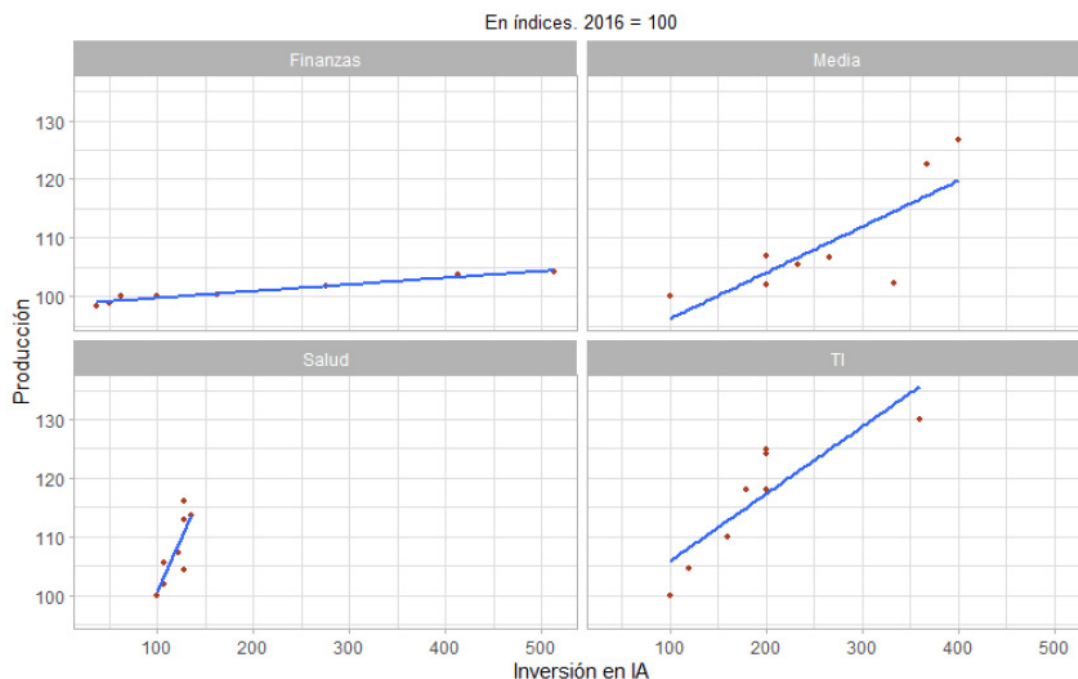
El sector TI no sólo incrementó su participación en la actividad económica como mostró la Figura 4, sino también su inversión en IA, pasando de ser el sector que ocupaba el 5% del total de esta inversión a poseer el 18% de participación sobre la inversión IA. El sector media incrementó su posicionamiento de un 3% en 2015 a un 12% en 2022, es decir, que los medios digitales en Alemania emplean cuatro veces más IA en 2022 que en 2015, lo que implica más inversión del sector en ella.

Por otra parte, el sector finanzas, que apalanca al resto de los sectores a través de las operaciones de intermediación, incrementó el uso de IA al pasar de ocupar el 8% de la inversión total en 2015 a poseer el 13% en 2022, lo que implica una inversión considerable del sector en el desarrollo y uso de IA para su operatividad.

Con estos datos, se muestra que, los sectores económicos principales en Alemania son los sectores que reciben mayor proporción de la inversión en IA, así como se evidencia un incremento del uso de IA en los sectores financieros, de desarrollo de negocios y del sector de media y publicidad, mientras que a nivel de PIB, si bien la proporción se mantuvo relativamente constante, se muestra que el 81% del PIB para 2015 y el 85% del PIB para 2022 se compone de sectores económicos que recibían el 50% de la inversión en IA para 2015 y el 90% de la misma para 2022.

La Figura 6 muestra la relación entre la inversión en IA y el valor agregado de los sectores finanzas, media, salud y TI en Alemania, donde se muestra que estos cuatro sectores poseen relaciones positivas entre ambas variables con diferentes pendientes sobre cada sector, siendo el sector salud y TI quienes poseen mayor sensibilidad entre la inversión en IA y valor agregado y el sector finanzas quien posee menor sensibilidad entre ambas variables.

Figura 6: Alemania – Relación Producción vs Inversión en IA (2013-2022)



Fuente: OCDE, Statistisches Bundesamt, cálculos propios

La relación que muestra la Figura 6 puede ser indicio de causalidad, por lo cual, al realizar el test de causalidad de Granger, se evidencian las cifras dadas en la Tabla 2, donde se visualiza que, entre 2013 y 2022 no hubo causalidad ya que el valor-p del test de Granger fue de 0.37, siendo mayor que el valor crítico estándar (Greene, 1999) que es 0.05. Sin embargo, entre 2015 y 2022 se evidencia causalidad de la inversión en IA sobre el crecimiento del PIB, pues su valor-p en ese período es de 0.0013. Además, la Figura 3 muestra que es a partir del 2015 cuando la inversión en IA y el PIB crecen conjuntamente, pues es el momento donde se intensificó la inversión en IA, por lo cual, se puede decir que a partir de la intensificación del uso de IA se generó causalidad sobre el crecimiento del PIB.

Tabla 2: Causalidad de Granger entre PIB e Inversión en IA – Alemania

Período	Hipótesis Nula (H0)	Valor-P	Decisión
2013-2022	No hay Causalidad	0.3700	Aceptar H0
2015-2022		0.0013	Rechazar H0

Fuente: Cálculos propios

La correlación y causalidad mostrada entre la inversión en IA y el valor agregado en los principales sectores económicos de Alemania refleja que estos sectores emplean IA como parte de su operatividad, lo cual genera que ante incrementos en la inversión en IA, se incremente también la producción en el corto plazo.

El sector financiero emplea IA para, por un lado, el monitoreo de los mercados financieros en tiempo real, lo que genera mejores capacidades para la inversión en sectores económicos clave y de rendimiento atractivo para el inversor, pero también para optimizar la transaccionali-

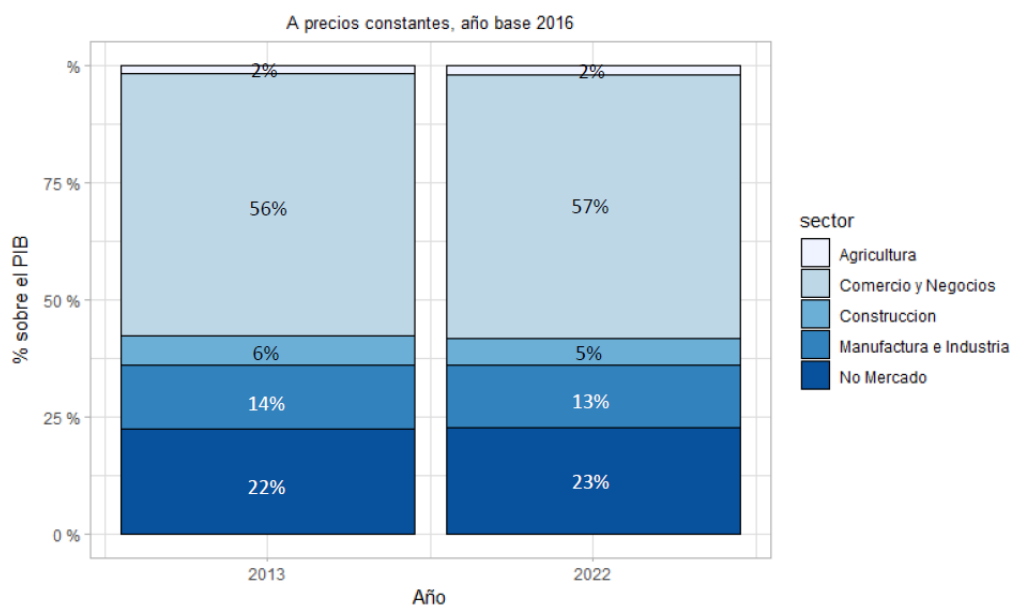
dad de sus empresas mediante las plataformas tecnológicas, tanto bancarias, como Fintech como de otros tipos de aplicaciones para transar dinero. Además, el sector financiero utiliza IA para robustecer la seguridad de sus plataformas y operaciones, los cuales, además, están obligados tanto por ley, para asegurar la confiabilidad del consumidor, como para mantener su estatus de prestigio a nivel institucional.

El sector salud emplea IA no sólo para los equipos tecnológicos que se utilizan en la operatividad del sector, sino también, en la contemporaneidad, con el desarrollo de las aplicaciones y plataformas destinadas al asesoramiento y prestación de servicios de salud hacia los hogares, siendo este un sector que potencia a los demás sectores económicos al garantizar la salubridad de los empleados y directivos de las empresas.

Por último, el sector TI es uno de los sectores que se encarga de desarrollar IA y herramientas y dispositivos que se usan para que la IA pueda operar, así como para que el resto de los sectores económicos posea servicios de TI y de alojamiento de servidores para el facilitamiento del desarrollo del Big Data. Los datos señalan no solo que la IA forma parte sustancial de la economía alemana (AI Index Report, 2024), sino también que el crecimiento de la economía del país europeo está altamente correlacionado con la participación de la IA en sus sectores económicos clave, por lo tanto, al realizar el modelo econométrico de diferencias en diferencias, en la sección que sigue, se espera que el resultado del impacto de la inversión en IA en el crecimiento de la economía de Alemania sea significativo, visto entonces como un análisis de inferencia estadística más que sólo gráfico-correlacional.

Visto la composición del PIB y de la inversión en IA en Alemania, se analiza el caso de Francia, pues descomponer estos valores para Francia, ayuda a entender, además de la dinámica de la IA en Francia, la diferencia del uso de este factor con respecto a Alemania. La Figura 7 muestra la composición del PIB francés, se evidencia que, entre 2015 y 2022 no hubo mayor cambio en la composición del mismo por sector económico, en 2015 el 56% del PIB lo aportaba el sector comercial y de negocios, mientras que para 2022 aumentó en 1% el aporte, cosa que ocurrió también con el sector de no mercado (sector público), que pasó de aportar el 22% al 23% del PIB. Los sectores de construcción y manufactura cedieron 1% de su aporte al PIB a los sectores anteriores, pues pasaron de aportar el 6% y 14% respectivamente al 5% y 13%.

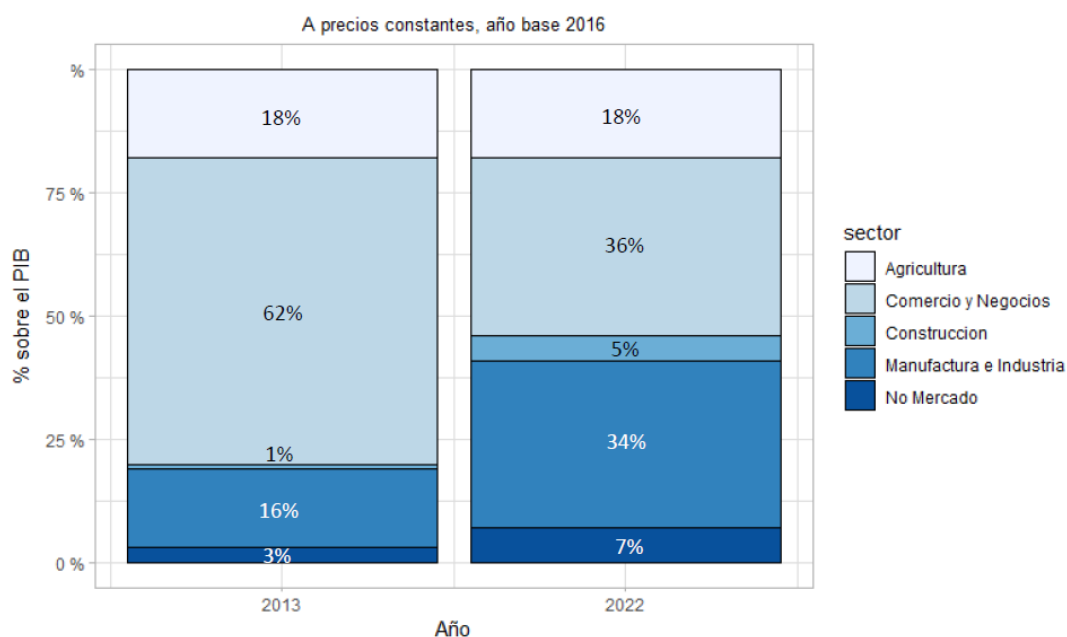
Figura 7: Composición del PIB de Francia



INSEE, cálculos propios

La Figura 8 muestra la composición de la inversión en IA en Francia por sector económico, se visualiza que el sector de comercio y negocios pasó de componer el 62% de esta inversión en 2015 al 36% en 2022, mientras que el sector manufactura e industria pasó de ocupar el 15% al 34% en el mismo período, es decir, que las empresas del sector industrial y manufactura estarían empleando tecnología IA para el mejor posicionamiento de sus productos y estudios de mercado con técnicas de Machine Learning, así como el ofrecer nuevos servicios con el uso de IA. Por otra parte, el sector de construcción y no mercado pasaron de aportar el 1% y 3% respectivamente a dar 5% y 7% de aporte a la inversión en IA en Francia, mientras que el sector agrícola no presentó cambio alguno.

Figura 8: Composición de la Inversión en IA en Francia



Fuente: OCDE, cálculos propios.

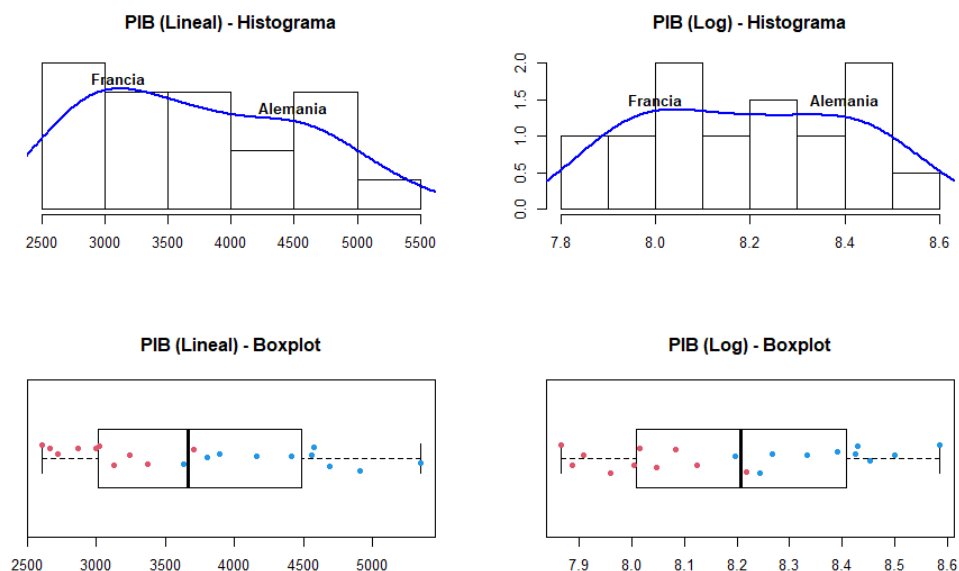
Nota: Considerando la diferencia en la medición de la composición del PIB entre Alemania y Francia, no se realiza una vista de la Figura 6 para el caso de Francia, ya que la comparación sería entre sectores económicos diferentes.

7. ANÁLISIS EXPLORATORIO DE DATOS

Antes del modelado econométrico, se realiza un análisis descriptivo a fin de estudiar el comportamiento estadístico de los datos a correr. Primero se analizan los datos económicos, ya que son el ámbito de aplicación del modelo y los que permiten entender el estatus de la economía de los países estudiados, y posteriormente, se analiza la inversión en IA ya que, además, cuenta con menos observaciones.

A nivel agregado, los datos señalados en la Figura 9 muestran una distribución más normalizada en el PIB cuando se trata como variable logarítmica que como variable lineal, minimizando el sesgo, aunque manteniendo la curva de densidad platicúrtica. El motivo de esto se debe, además de la corta periodicidad, lo que deriva en pocos datos en la muestra, a un crecimiento a tasas de entre 2% y 3% durante esos años, por lo cual, se concentra la mayor parte de los datos dentro del rango intercuartílico como se ilustra en los gráficos de caja de la Figura 9. Esta aproximación normal en logaritmo, indica que en el modelado econométrico resultaría más viable tratar al PIB como variable logarítmica que como variable lineal.

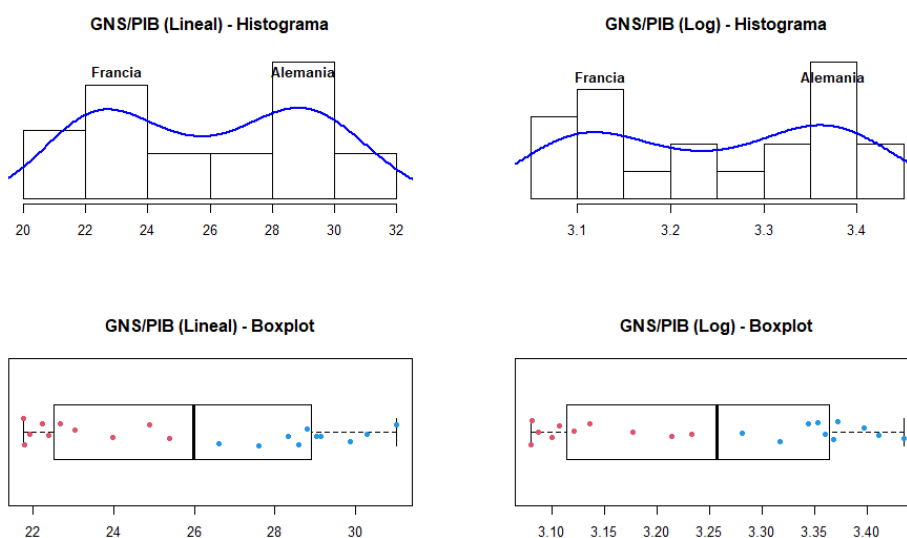
Figura 9: Distribución probabilística del PIB



Fuente: Estimaciones propias con data del FMI

La Figura 10 sigue la distribución del ahorro nacional como porcentaje del PIB, se muestra con apariencia platocúrtica y con sesgo a la derecha tal como en el análisis de las tablas 2 y 3, y al igual que el PIB, se muestra un rango intercuartílico con tendencia uniforme. Cabe señalar que, como la serie de tiempo se limita a 10 observaciones, existe ausencia de normalidad en la distribución, sin limitar a que los datos se aproximen lo suficiente a una normal como para que el modelo presente errores de ruido blanco y correcta especificación. Así mismo, se muestran dos picos en las distribuciones, en donde el coeficiente de ahorro se ubica en 23% y en 28%, que son, además, los coeficientes de ahorro promedio de Francia y Alemania respectivamente, simulando dos distribuciones en una.

Figura 10: Distribución probabilística del Ahorro

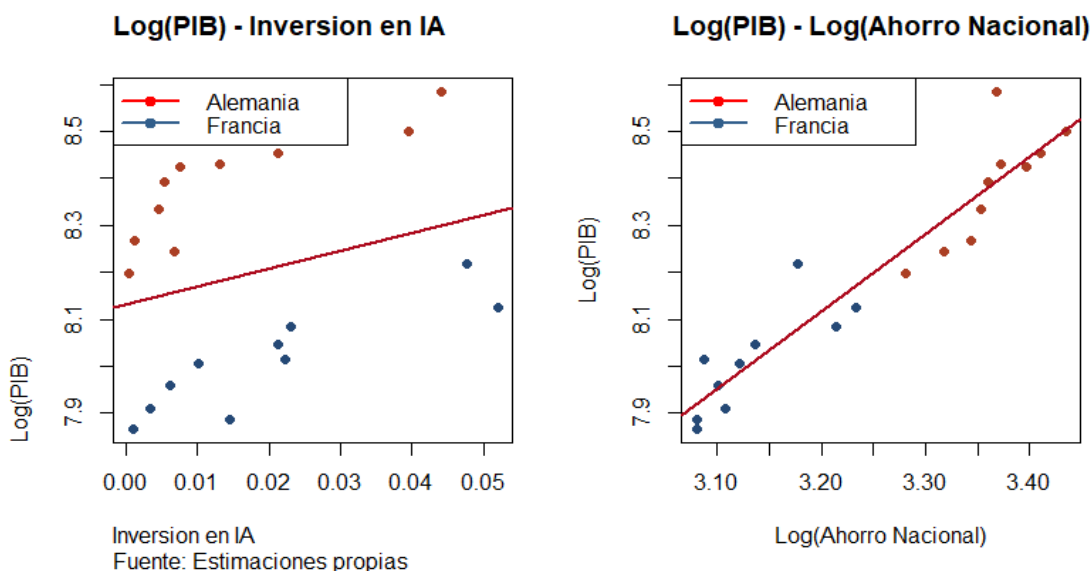


Fuente: Estimaciones propias con data del FMI

De acuerdo a la teoría económica, se espera una relación positiva entre el PIB y el coeficiente de ahorro dado que el ahorro incentiva la inversión bruta y esta es el principal motor de impulso de la producción en el largo plazo. Se espera que exista una relación positiva con respecto a la inversión en IA (ya que esta forma parte de la primera), así como una relación positiva con el ahorro, por ser este el motor de la inversión.

De acuerdo a la Figura 11, existe una relación positiva entre el logaritmo del PIB y el logaritmo del ahorro nacional, la cual radica su motivo en que el ahorro incentiva la inversión, y, por vía del gasto, la inversión privada es parte del PIB, siendo su principal motor en el largo plazo de acuerdo a los modelos de crecimiento, principalmente el de Solow (1957, como se citó en Garin. et al., 2018), quien empleó en su modelo a la inversión como determinante del crecimiento en el largo plazo a través de la adquisición de capital.

Figura 11: Relación PIB – Variables Independientes



Fuente: Estimaciones propias

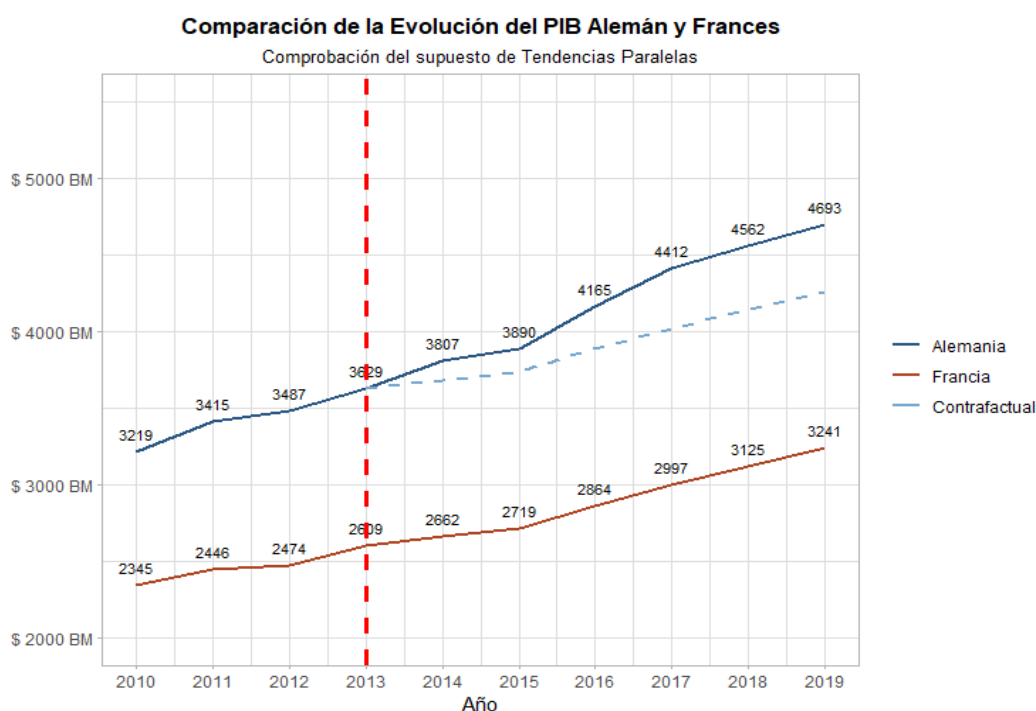
Además, dado que la inversión en IA es parte de la inversión total, se espera entonces, que los incrementos en la primera motiven incrementos en la segunda, considerando, además, que algunos sectores económicos no invierten directamente en IA pero adquieren bienes basados en estas tecnologías. Los datos de la OCDE (2022) muestran que el sector salud, educación y servicios financieros emplean bienes que basan sus tecnologías en IA, por lo cual, la adquisición de estos incentiva la demanda de IA y, por ende, la inversión en la misma. Por otra parte, la relación entre la inversión total y el ahorro es positiva, a mayor nivel de ahorro se espera un mayor nivel de inversión. De hecho, de acuerdo a las cifras del Banco Mundial, Alemania es el tercer país con más ahorro como porcentaje del PIB en Europa después de Suiza e Irlanda para 2021. Dados los resultados, se espera que, en el modelo, el signo del coeficiente de las variables con respecto al PIB sea positivo, tal y como lo mostró el gráfico anterior. Además, cabe señalar que la relación entre estas variables demostró ser lineal, el modelado econométrico podrá ser de un modelo lineal-lineal.

8. MODELO ECONÓMTRICO

Antes de realizar el modelo econométrico, el cual será de diferencias en diferencias, hay que comprobar primero que se cumpla el supuesto de tendencias paralelas. Para ello, se compara Alemania (tratamiento) con Francia (control), ya que la economía francesa es la más parecida en comportamiento a la economía alemana, así como ambos países han crecido de forma similar durante los años previos al año de tratamiento. La Figura 12 muestra gráficamente la evolución del PIB de Alemania en contraposición al francés, a fin de evaluar si se cumple el supuesto de tendencias paralelas.

Figura 12: Comparación de la Evolución del PIB de Alemania y Francia

Fig. 12



Fuente: FMI (WEO), Stanford Institute for Human-Centered AI & cálculos propios

La línea roja sobre el año 2013 divide al gráfico en el período previo y posterior al tratamiento (inversión en IA). Se muestra que, durante los años previos al tratamiento, la economía alemana y francesa crecían a ritmos similares, y posteriormente, comenzó la divergencia, la cual se expandió cada año con repuntes en 2014, 2016 y 2017. Así mismo, se muestra que, a partir de 2015, la tendencia de crecimiento en Alemania se aleja más del contrafactual que entre 2013 y 2014, por lo que el efecto agarró impulso dos años después de aplicarse la inversión en IA.

Luego de comprobado que el supuesto de tendencias paralelas se cumple, se realiza la corrida del modelo econométrico en el software RStudio. Se agregará las variables dummy «trat» y «post» como las variables que adquieren los valores de 0 y 1 para cuando el grupo es de control o tratamiento (trat) y si el tiempo es antes o después de tratamiento (post) respectivamente. Adicionalmente, se agregará como variables de control el aporte de la inversión en IA al PIB y el aporte del ahorro nacional al PIB, la primera expresada de forma lineal ya que, para los períodos previos al tratamiento, esta tuvo un valor de cero, y por tanto, no se puede expresar en logaritmo, mientras que la segunda, se expresará en logaritmo neperiano, ya que, como se vio en la Figura 13 la relación entre el PIB y el aporte del ahorro al mismo es logarítmica de forma bilateral.

Se corren tres modelos, un modelo “pooled” (“modelo 1”) un modelo de efectos fijos (“modelo 2”) y uno de efectos aleatorios (“modelo 3”), luego de verificar la significancia y signo de los coeficientes que lo componen, se evalúa cual será el mejor modelo aplicando los test de pooling y Hausman. El modelo que mejor resulte de acuerdo a estas pruebas, será el tomado para el estudio de impacto.

```

##
## Modelos Econométricos Diff-in-Diff
## =====
##                               Dependent Variable: ln(GDP)
## -----
##                               Diff-in-Diff models Estimation
##                               Pooled           Within           Random
##                               (1)             (2)             (3)
## -----
## Trat                          0.24***          0.25***          0.22***
##                               (0.05)          (0.03)          (0.03)
##
## Post                          0.13***          0.18***
##                               (0.03)          (0.04)
##
## Trat * Post                    0.06            0.02*           0.04**
##                               (0.04)          (0.01)          (0.01)
##
## ln(GNS/GDP)                   0.42*           0.37**          0.56***
##                               (0.23)          (0.14)          (0.15)
##
## AI-INV/GDP                    513.46***       -134.25          222.04**
##                               (89.08)        (117.75)        (96.09)
##
## Constant                       8.40***          8.61***
##                               (0.34)
## -----
## Observations                   32              32              32
## R2                             0.96            1.00            1.00
## Adjusted R2                    0.95            1.00            0.99
## F Statistic 126.88*** (df = 5;26) 1,979.18*** (df = 4;12) 5,174.49***
## =====
## Note:                          *p<0.1; **p<0.05; ***p<0.01
    
```

La salida de los modelos muestra que existe significancia global en los tres modelos ya que el valor F de la distribución es inferior al valor crítico (0.05) en cada uno de ellos, De acuerdo a la metodología Diff-in-Diff, sólo importa el valor y significancia de la variable “trat * post” ya que esta es la que mide el impacto sobre la variable dependiente. Vemos que en el modelo 1 esta variable no es significativa, pero si lo es en los modelos de 2 y 3, sin embargo, pareciera ser estadísticamente más significativa en el modelo 3 que, en el 2, además que en el modelo 2 muestra que a medida que la inversión en IA se incrementa en relación al PIB, este tiende a decrecer, cosa que se contradice con el valor positivo de la variable de impacto.

La Tabla 3 muestra los resultados del test pooling y el test de Hausman a fin de determinar el mejor modelo estimado. Los datos arrojan que el modelo 2 es mejor que el modelo 1 ya que este último no posee estimadores consistentes (valor-p inferior a 0.05 en el test Pooling), sin embar-

go, el modelo 3 es mejor que el modelo 2 ya que los efectos fijos no son consistentes frente a los efectos aleatorios (valor-p inferior a 0.05 en el test Hausman), por lo cual, el modelo 3 es el modelo elegido para evaluar el impacto.

Tabla 3: Elección de mejor modelo

Test Pooling	Test Hausman	Mejor Modelo
0.000000756	0.0001205238	Modelo 3 (Efectos Aleatorios)

Fuente: Estimaciones propias

La inconsistencia de los estimadores pooled se refleja en la insignificancia estadística del estimador “trat * post”, pues se evidencia como no significativo el impacto del efecto (IA) pero se muestra significativo el aporte de la IA al PIB (AI-INV/PIB), mientras que la inconsistencia de los efectos fijos frente a los efectos aleatorios se evidencia en la significancia del efecto pero en la falta de significación en el aporte de la IA al PIB (que además arrojan signos diferentes), mientras que en los efectos aleatorios se evidencia significancia del efecto y del aporte de la IA al PIB. Dado que el modelo de efectos fijos es más consistente que el modelo pooled, pero los efectos aleatorios son más consistentes que los efectos fijos, se muestra una significancia mayor a medida que el modelo es más consistente respecto a los anteriores.

Se evalúa que los errores sigan una distribución normal (Jarque-Bera), que el modelo presente homocedasticidad (Breusch-Pagan) y que no exista autocorrelación serial (Breusch-Godfrey). La Tabla 4 muestra que los valores-p de todos los test mencionados son superiores a 0.05, por lo cual, se aceptan todas las hipótesis nulas, los errores siguen una distribución normal, la varianza del error es constante y no hay autocorrelación serial.

Tabla 4: Test econométricos

Test	Hipotesis_Nula	P_Value	Decision
Jarque-Bera	Error Ruido Blanco	0.5392751807	Aceptar Ho
Breusch-Pagan	Homocedasticidad	0.7574726924	Aceptar Ho
Breusch-Godfrey	No Autocorrelacion	0.0585909535	Aceptar Ho

Fuente: Estimaciones Propias

De acuerdo a Huntington-Klein (2022), el estimador diff-in-diff puede estar sujeto a inestabilidad si se realiza un modelo auxiliar con falsas variables de tratamiento. Para verificar, se corre una regresión auxiliar con falsos tratamientos en cada período previo y se verifica que no haya significancia individual. Para ello, se corren tres modelos auxiliares con variables de tratamiento falsas durante los períodos pre-tratamiento y se validará su significancia. La hipótesis nula será que no existe falso efecto diff-in-diff en estos períodos.

Los resultados del test de Placebo en la Tabla 5 muestra que no existen falsos efectos DID en los modelos de prueba, es decir, que si se coloca efectos de tratamiento donde no los hay, estos no serán significativos. Por lo tanto, existe estabilidad en el estimador original y un efecto real en la inversión en IA sobre el crecimiento del PIB.

Tabla 5: Prueba Diff-in-Diff de Placebo

Test de Placebo	Hipótesis Nula (Ho)	P - Value	Decisión
Primer Período	No hay falso efecto DID	0.25964	Aceptar Ho
Segundo Período	No hay falso efecto DID	0.51466	Aceptar Ho
Tercer Período	No hay falso efecto DID	0.31178	Aceptar Ho

Fuente: Estimaciones propias

Dado que se tiene elegido un modelo para evaluar el impacto, que se determinó que este posee estimadores lineales insesgados, eficientes y consistentes, y que se evaluó que no exista falso efecto diff-in-diff en el período y muestra estudiado, se procede a interpretar el modelo y, por tanto, el impacto de la inversión en IA sobre el PIB de Alemania, el cual se visualiza de la siguiente forma:

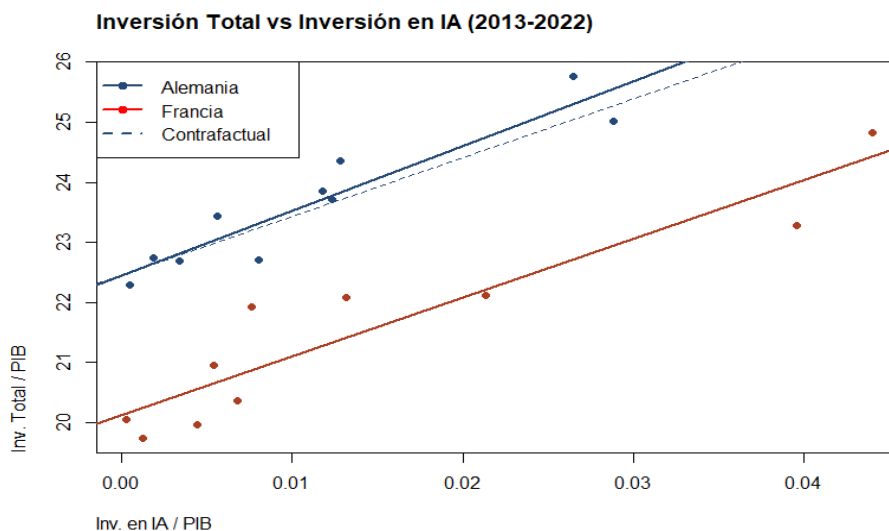
$$\ln(GDP) = 8.61 + 0.22 \text{ Trat} + 0.18 \text{ Post} + 0.04 \text{ Trat} * \text{ Post} + 0.56 \ln\left(\frac{GNS}{GDP}\right) + 222.04 \frac{AI_INV}{GDP}$$

De los coeficientes del modelo, el coeficiente $\text{Trat} * \text{Post}$ es el que determina el impacto de la inversión en IA sobre el PIB. Dado que el primero es lineal en el modelo y el segundo es logarítmico, se entiende que entre 2013 y 2022, que Alemania pudiese invertir en IA a niveles superiores que Francia hizo que Alemania creciera un 4% más en ese período de tiempo, lo que equivale a 0.44% de crecimiento promedio anual superior en Alemania por la inversión en IA.

8. HALLAZGOS

El resultado del modelo muestra una relación consistente entre la inversión en IA y la y el PIB en Alemania. Esta relación sería posible a través de la inversión total. La Figura 15 muestra la relación entre la inversión total y la inversión en IA, se muestra que existe una relación positiva entre ambas variables tanto para Alemania y Francia. Dado que de acuerdo a la teoría económica la inversión y el PIB guardan una relación directa, y dado que el resultado del modelo arrojó relación entre la inversión en IA y el PIB (así como un impacto del primero sobre el segundo) se puede deducir que esta relación es indirecta a través de la inversión total, donde la inversión en IA forma parte de esta última. Además, se muestra que a medida que la inversión en IA se incrementa, la tendencia de incremento en la inversión total es mayor en Alemania que en Francia, alejándose del contrafactual, lo que puede explicarse por el efecto de impulso que genera la IA en otros sectores económicos (por tanto, en otras inversiones).

Figura 15: Inversión Total vs Inversión en IA (2013–2022)



Fuente: Estimaciones propias

La explicación radica en lo que evidencian las figuras 4 y 5, pues entre 2013 y 2022 la composición de la inversión en IA se ajustó a la composición del PIB, lo que permite que la primera pueda generar impulsos sobre la segunda al dar enfoque a los principales sectores económicos de Alemania. Así mismo, los sectores donde se incrementó la concentración de la inversión en IA (Finanzas, Negocios, Media y TI) son los sectores que impulsan a las demás industrias en la actualidad, pues el sector financiero es el que apalanca la inversión en las demás industrias, el sector negocios es el sector económico principal de Alemania, y todos los sectores emplean TI en la actualidad, por lo que mejoras en estas áreas, representa mejoras en las industrias que son proveídas por las primeras.

De acuerdo a los postulados microeconómicos de las funciones de producción, los avances tecnológicos poseen un efecto multiplicativo en la producción dado el impulso que estos tienen sobre la productividad de los factores, acortando procesos, optimizando tiempos e incrementando la producción. Dado que la inversión en IA genera nuevas tecnologías empleadas por los sectores económicos para la optimización de sus productividades, y dado que el 60% de la inversión total en IA se emplea en los sectores que ocupan más del 80% del PIB según el Statistisches Bundesamt, se puede deducir que la inversión en IA ha participado en el 40% del crecimiento del PIB para el 2022 tomando como estructura los sectores mencionados (Levin & Rubin, 2004).

Tomando como base el planteamiento anterior, se puede deducir que la inversión total en IA ha, por un lado, afectado positivamente al incremento de la producción de los sectores económicos a través de la optimización de procesos y generación de conocimiento, y por otro lado, ha servido como factor multiplicador para que los demás sectores económicos incrementen su productividad indirectamente, pues la mejora en los procesos de negocios y en las nuevas tecnologías impulsa a que las empresas (aún sin invertir en IA) posean tecnologías modernas y mejoras en los procesos de negocios, lo que les permite ser más productivas. He ahí el efecto indirecto del impacto de la inversión en IA en la productividad de los sectores económicos que aportan al PIB.

Además, desde el punto de vista macroeconómico, el resultado del modelo arroja que la diferencia en el crecimiento del PIB de Alemania en contraposición al de Francia, es de 4% entre 2013 y 2022, lo que equivale a 0.44% anual. Es decir, el resultado muestra que existió un diferencial del incremento del PIB equivalente al 0.44% promedio cada año (es decir, 4% en nueve años), que es explicado en un 99% (de acuerdo al coeficiente R2 ajustado del modelo) por el impacto del nivel de inversión en IA sobre la inversión total, y esta última, a su vez, por el impacto total sobre el PIB de Alemania.

El diferencial de crecimiento dado por la mayor inversión en IA indica, por una parte, que Alemania ha sido durante esos nueve años más productivo que su país vecino debido a que el progreso técnico otorgado por la IA permite que las empresas del país sean no sólo más productivas, sino que su capacidad para abastecer el mercado nacional y su demanda internacional (exportaciones) pueda incrementarse, en especial en los sectores finanzas, TI, media y negocios que son los que poseen mayor participación en inversión en IA y en el PIB, lo que se traduce en un potencial crecimiento económico que se sostendría con incrementos en la PTF y en el stock de capital principalmente.

Estos resultados poseen similitud con lo arrojado por Acemoglu (2024), que midió que a nivel mundial la PTF podrá expandirse en 0.66% en los próximos años debido a la participación y expansión de la IA en las labores productivas, así como un aporte al crecimiento del PIB mundial en un 1.16% al trasladar el efecto de la PTF al valor agregado (pp. 29-34). Esto indica que los incrementos en la PTF por motivo de la IA tienden a incrementar el crecimiento del PIB en una ratio de 1.75 a nivel mundial (en un ratio PIB/PTF), por lo que para Alemania la PTF se incrementaría en un 2.3% por motivo de la inversión en IA.

Por otra parte, este diferencial de crecimiento indica que Francia tendrá que incrementar su inversión en IA en aquellos sectores clave de su economía, y ajustar su inversión en IA hacia aquellas industrias con mayor participación en su PIB para poder acercar su crecimiento hacia lo arrojado por Alemania y adaptarse a las mejoras de la productividad que, de acuerdo a Acemoglu (2024) se darán en los próximos años motivado a la participación de la IA en la economía (p. 34).

Hay que recordar que el estimador de diferencias en diferencias mide la diferencia en la variación de la variable objetivo en los dos grupos de estudio, en este caso del crecimiento del PIB, por lo cual, el estimador de diferencias en diferencias, para este caso, representa la diferencia en el crecimiento del PIB de Alemania en contraposición al de Francia. Por último, cabe señalar que el gobierno alemán se ha mostrado interesado en realizar inversiones en IA para el uso del sector público y el uso de sus bondades para sus actividades, lo que daría espacio a un impacto mayor de su inversión sobre el PIB de la economía alemana.

9. ASUNTOS DE ÉTICA PARA LA IA

La diatriba principal a la que se enfrenta la IA en la actualidad está reciamente vinculada a la ética, particularmente al uso que el hombre y la sociedad en general le otorga a la IA y cuán ético es esta conexión. Ante ello, organismos multilaterales y empresas que promueven el uso de la IA (como IBM), han desarrollado recomendaciones éticas para el uso de IA, dirigidos tanto a personas, como empresas como gobiernos. De acuerdo a la UNESCO (2021) la IA debe mejorar la calidad de vida de la humanidad en tanto no efectúe vulneraciones a los derechos humanos ni a la libertad de las personas (p. 18). De hecho, la principal bondad que existe entre la IA y la inteligencia humana es que la primera puede interactuar con las personas y brindar asistencia para situaciones de desconocimiento para el ser humano.

Los agentes económicos, especialmente los hogares, pueden emplear tecnologías y sistemas de IA para facilitar su calidad de vida en cuanto a asistencia en actividades del hogar (mediante, por ejemplo, los robots de limpieza), en el otorgamiento de conocimiento ante situaciones donde el individuo sea desconocedor del tema en cuestión (mediante tecnologías como ChatGPT) o a través de la asistencia en equipos tecnológicos (como el bot “Alexa”), situaciones que representan una oportunidad para los hogares en cuanto al aprovechamiento de las tecnologías, y para las empresas, en cuanto a su desarrollo y comercialización.

Por otro lado, una de las principales recomendaciones es el cuidado ambiental requerido para el funcionamiento de la IA, pues esta última depende de energía para funcionar. Además, es necesario que se evalúe el impacto que posee el gasto energético en IA sobre la sostenibilidad ambiental, especialmente al concientizar que la IA se encuentra en constante evolución y crecimiento (UNESCO, 2021, pp. 30-31). Desde el punto de vista de la educación, el desarrollo de

competencias técnicas y conocimiento en cuanto a la estructura, funcionamiento, alcances y limitaciones de la IA, representará un elemento al cual deberá ser estudiado por los docentes y estudiantes, para así saber aprovechar sus bondades sin sobrepasar sus limitaciones, así como para darle un uso ético y moral a la IA.

El apoyo a las investigaciones sobre la ética de la IA y sobre el uso responsable de estas tecnologías, contribuirá, además, en el desarrollo de los docentes en el área y en la promoción y avance del aprendizaje electrónico, lo que atenuará los riesgos y problemas presentes en el ámbito e incrementará las oportunidades de uso y desarrollo de tecnologías basadas en IA. Para ello, se debe acompañar este proceso de evaluaciones de calidad no sólo en la tecnología IA empleada para tal fin, sino también del impacto que posee sobre la calidad en la educación y la repercusión sobre los docentes y alumnos

El factor más importante para garantizar transparencia recae sobre los mecanismos de protección y gobernanza de datos. Sobre el primero, la UNESCO (2021) recomienda el establecimiento de normativas internacionales y el desarrollo de leyes e instituciones nacionales que se encarguen de velar por el correcto funcionamiento de los sistemas de protección y gobernanza de datos (p. 29), de hecho, el Gobierno de la Ciudad de Buenos Aires (s.f.) se encuentra desarrollando proyectos de capacitación y promoción de datos abiertos y gobernanza de datos como método de transparencia en Argentina. Los repositorios abiertos de datos y códigos fuente son el principal método de transparencia tanto de datos como de métodos de procesamiento de los mismos mediante los códigos establecidos en los lenguajes de programación.

De acuerdo al Instituto para el Futuro de la Educación del Tecnológico de Monterrey (2024) existen seis retos para lograr el desarrollo sostenible de la IA, los cuales radican en hacer políticas públicas integrales, preparar al profesorado para la educación con IA, capacitar a la IA en educación, desarrollar sistemas de datos inclusivos con calidad, desarrollar investigaciones significativas en IA para la educación y monitorear la transparencia en la recolección y uso de datos. Desarrollar estos aspectos y su implementación, permitirá un uso ético de las tecnologías IA, en especial en la educación, lo que a su vez permitirá un uso responsable de esta.

10. CONCLUSIONES

La inversión en IA posee un impacto significativo sobre el crecimiento de la economía de Alemania, lo cual generó un diferencial promedio de crecimiento del PIB del 4% entre 2013 y 2022 que representa una media de 0.44% anual. El impacto de la inversión en IA sobre el PIB de Alemania se transmite a través de los efectos que producen los avances tecnológicos en la producción de bienes y servicios en los sectores económicos clave que aportan más del 80% del PIB en los últimos nueve años, los cuales son el sector negocios, salud, media, TI y finanzas.

Naturalmente, estos sectores económicos producen impacto sobre el crecimiento del PIB, pues el sector negocios se encarga, entre otras cosas, de asesorar a las empresas a mejorar su eficiencia, generar nuevos mercados, comercializar y producir nuevos tipos de bienes y servicios, los cuales, con una población creciente y por lo tanto, una demanda creciente, el sector crece para satisfacer dicha demanda, aunado al uso de la IA para mejorar su eficiencia, crear nuevos productos y servicios para el consumidor y otras empresas, la IA le ayuda a expandir y mejorar su operatividad, así como la oferta de productos, tanto a este sector como a otros sectores.

El sector media, con el uso de la IA, mejoran su forma de llegar al consumidor por el uso de los algoritmos y tecnologías perfeccionadas que generan más eficiencia operativa, principalmente en cuanto al mercadeo tecnológico, lo cual colabora a que otras empresas de otros sectores puedan incrementar su cartera de clientes y sus ventas gracias a las estrategias de mercadeo que el sector media ofrece, los cuales se propulsan con el uso de las tecnologías de IA.

Por otro lado, el uso de la IA para el sector finanzas, no solo le permite incrementar la seguridad y velocidad de transacciones en las plataformas de pago de cada institución financiera, sino que también genera nuevas opciones de transaccionalidad, atención al cliente apertura de cuentas

o de contratos a través de las tecnologías de IA, lo cual acorta tiempos e incrementa el uso de las aplicaciones del sector financiero, no sólo ayudando así a su crecimiento sino también a mejorar los tiempos de operatividad de los sectores beneficiados.

En términos generales, la inversión en IA ha incrementado su participación en la economía de Alemania en más del 14,566% como se mostró en la Figura 3, incremento que se consiguió a través de un enfoque en los sectores económicos clave, invirtiendo más IA para estos sectores que para el resto de la economía. Por lo tanto, el resultado, posteriormente reafirmado a través del modelo econométrico evidenció un efecto positivo de la inversión en IA sobre el PIB, generando un diferencial de crecimiento con respecto a la economía de Francia, que posee las mismas condiciones económicas que Alemania y cuyo comportamiento del PIB fue similar en el período previo al 2013.

Por otra parte, las empresas en Alemania pueden aprovechar el comportamiento ético que las recomendaciones de la UNESCO establecen, lo cual les brindaría además de transparencia y credibilidad, la oportunidad de incentivar investigación y desarrollo tanto de tecnologías de IA como de marcos éticos para el uso y desarrollo de las mismas, lo que mejoraría el uso y desarrollo de este avance técnico en el futuro.

Dado que el volumen de datos disponibles es corto, no se puede determinar el efecto de la IA sobre el crecimiento económico en términos de stock de capital, productividad total de los factores e índice de capital humano en el largo plazo hasta tanto los años pasen y la disponibilidad de datos se haga más efectiva. Sin embargo, es determinante que la inversión en IA produce crecimiento en la economía en términos de PIB, lo cual se materializa a través del efecto que posee la adopción de estas tecnologías sobre la operatividad de los sectores económicos que la componen, más aún al conocer que los sectores estudiados se complementan entre sí, pues cada uno de ellos utiliza bienes o servicios que otros sectores producen, algunos con el uso de IA.

REFERENCIAS BIBLIOGRÁFICAS

- Abdalá, M. B., Lacroix Eussler, S., & Soubie, S. (2019). La política de la Inteligencia Artificial: sus usos en el sector público y sus implicancias regulatorias. Documento de trabajo, 185.
- Acemoglu, D. (2024). *La Macroeconomía de la IA*. NBER. N° 32487
- Aldcroft, D. & Morewood, S. (2013). *La Economía Europea 1914-2012*. Crítica Barcelona.
- Banco Mundial. (2022). Datos por país. <https://datos.bancomundial.org/>
- Bernal, B., & Reyes, J. (2010). El residuo de Solow revisado. *Revista de economía institucional*, 12(23), 347-361.
- Brumback, B. A. (2022). *Fundamentos de Inferencia Causal con R*. Chapman and Hall/CRC.
- CAF (2021). Experiencia: Datos e Inteligencia Artificial en el Sector Público
- Cunningham, S. (2021). *Inferencia Causal*. University Press New Haven & London
- Deutsche Welle. (2019). *Alemania: 500 millones más en la IA*.
- Fondo Monetario Internacional (FMI). (2023). World Economic Outlook. Abril 2023. FMI. <https://www.imf.org/en/Publications/WEO/Issues/2023/04/11/world-economic-outlook-april-2023>
- Garin, J., Lester, R., & Sims, E. (2018). Intermediate Macroeconomics. This Version 3.0.
- Greene, W. H., & Sánchez, J. A. H. (1999). *Análisis econométrico (Vol. 3)*. Madrid: Prentice Hall.
- Hernández Sampieri, R., & Baptista, C. (2014). *Metodología de la Investigación*. México. Editorial Mc Graw Hill.
- Huntington-Klein, N. (2022). *El Efecto: Una Introducción al Diseño de Investigaciones y Causalidades*. Chapman and Hall/CRC.
- Kouziokas, G. (2017). La aplicación de la inteligencia artificial en la administración pública para la previsión de áreas de transporte de alto riesgo de delincuencia en el entorno urbano. *Procedimiento de investigación de transporte*. p. 467-473.
- Levin, R. & Rubin, D. (2004). *Estadística para Administración y Economía*. Pearson educación.

- Nicholson, W. (2009). *Teoría Microeconómica. Principios Básicos y Ampliaciones*. Ediciones Paraninfo, SA.
- OCDE AI Policy Observatory. (2022). Trends and Data. OCDE. <https://oecd.ai/>
- Purdy, M. & Daugherty, P. (2016). Inteligencia artificial, el futuro del crecimiento. Accenture Institute for High Performance.
- Romer, D. (1997). *Macroeconomía Avanzada*. Editorial Mc Graw Hill
- Romero, L. & Mendoza, M. (2016). *Econometría con R*. UNAM. Facultad de Estudios Superiores Acatlán.
- Solans, A. (2019). Hacia la era de la inteligencia artificial. Edita: Fundación Telefónica Patronato de Fundación Telefónica. p. 114.
- Stanford Institute for Human-Centered AI. (2022). AI Index Report 2022. <https://aiindex.stanford.edu/ai-index-report-2022/>
- Stanford Institute for Human-Centered AI. (2023). AI Index Report 2023. https://aiindex.stanford.edu/wp-content/uploads/2023/04/HAI_AI-Index-Report_2023.pdf
- Statistisches Bundesamt. (2022). GENESIS DataBase. *Statistisches Bundesamt*. <https://www-genesis.destatis.de/datenbank/online>
- Tecnológico de Monterrey. (15 de mayo de 2024). Principios éticos de la educación con Inteligencia Artificial (IA). *Instituto para el Futuro de la Educación / Observatorio*. <https://observatorio.tec.mx/edu-news/principios-eticos-de-la-educacion-con-inteligencia-artificial-ia/>
- UNESCO. (2021). Recomendaciones de Ética para la Inteligencia Artificial.
- Weller, J., Gontero, S., & Campbell, S. (2019). Cambio tecnológico y Empleo: Una Perspectiva Latinoamericana. Riesgos de la sustitución tecnológica del trabajo humano y desafíos de la generación de nuevos puestos de trabajo. ONU, CEPAL.