

Análisis empírico de la relación entre investigación, desarrollo, innovación, y crecimiento económico en países OCDE

Empirical analysis of the relationship between research, development, innovation, and economic growth in OECD countries

Juan Camilo Villar Otálora

Universidad Externado de Colombia (Colombia)

<https://orcid.org/0000-0003-0940-1639>

juan.villar1@uexternado.edu.co

Jacobo Alberto Campo Robledo

Universidad Católica de Colombia (Colombia)

<https://orcid.org/0000-0003-3057-6206>

jacampo@ucatolica.edu.co

RESUMEN

Tomando una muestra de 24 países OCDE, mediante un panel cointegrado se proporciona evidencia empírica a nivel grupal e individual del efecto positivo del gasto en investigación, desarrollo e innovación sobre el crecimiento económico durante el periodo 2000-2019. Partiendo de que las patentes fungen como proxy de la innovación y utilizando el estimador de mínimos cuadrados ordinarios dinámicos para panel, se corrobora la existencia de una relación de equilibrio de largo plazo para la cual, y en términos per cápita, un aumento del 1,0% en el stock de patentes genera un incremento en el PIB de 0,52%. Asimismo, un aumento del 1,0% en el gasto en I+D deriva en un crecimiento de 1,27% en el PIB. De manera complementaria, implementando una prueba de causalidad tipo Granger para panel, se encuentra una relación positiva y significativa entre el gasto en I+D y el stock de patentes, el stock de patentes y el crecimiento, y el gasto en I+D y el crecimiento.

PALABRAS CLAVE

Gasto en I+D; Innovación; Patentes; Crecimiento Económico; Panel Cointegrado; Causalidad de Granger.

ABSTRACT

Taking a sample of 24 OECD countries, using a cointegrated panel, empirical evidence is provided at group and individual level of the positive effect of spending on research, development and innovation on economic growth during the 2000-2019 period.

Assuming that patents act as a proxy for innovation and using the ordinary least squares dynamic estimator, the existence of a long-term equilibrium relationship is corroborated by which, and in per capita terms, an increase of 1.0% in the stock of patents generates an increase in GDP of 0.52%. Similarly, an increase in R&D spending of 1.0% translates into GDP growth of 1.27%. Additionally, by implementing a Granger causality test for a panel, a positive and significant relationship is found between R&D spending and the stock of patents, patent stock and economic growth, and R&D spending and economic growth.

KEYWORDS

R&D Spending; Innovation; Patents; Economic Growth; Cointegrated Panel; Granger Causality.

Clasificación JEL: C33; O30; O38; O40.

MSC2010: 62P20, 91G70, 91G99.

1. INTRODUCCIÓN

Los efectos de la innovación y el desarrollo tecnológico en el crecimiento económico han sido analizados por diversas corrientes asociadas a la economía ortodoxa, las cuales han proporcionado un marco adecuado para el estudio del rol y la influencia que estas variables ejercen. Así pues, Ramsey (1928) y Solow (1956) asumen que la tecnología, pese a ser de naturaleza exógena, desempeña un papel crucial en el crecimiento; por su parte, Romer (1986) y Lucas (1988) muestran que el desarrollo tecnológico, visto desde la apropiación del conocimiento y del capital humano, genera niveles de crecimiento sostenibles; finalmente, Grossman y Helpman (1991) y Aghion y Howitt (1992), partiendo de la concepción de Schumpeter (1911), evidencian que los procesos de innovación y desarrollo tecnológico tienen efectos positivos sobre el crecimiento.

En ese sentido, se han realizado numerosos estudios con el fin de analizar el efecto que el gasto en Investigación, Desarrollo e Innovación (I+D+i) ejerce sobre el crecimiento de la Productividad Total de los Factores (PTF). Parte de los hallazgos derivados mediante el uso de distintas técnicas de estimación econométricas confirman la existencia de una relación positiva entre I+D+i y el crecimiento de la PTF. Asimismo, se ha demostrado que las políticas de Ciencia, Tecnología e Innovación (CTel) basadas en I+D+i aplicadas en países industrializados, no sólo generan efectos directos de largo plazo sobre la PTF, sino que también originan efectos indirectos sobre la PTF de los países en desarrollo mediante un efecto de *spillover* tecnológico.

El aumento del reconocimiento sobre el vínculo existente entre I+D+i, CTel y crecimiento económico, ha llevado a que los *policymakers* establezcan objetivos medibles y alcanzables en materia de I+D+i. Las metas, por lo general, expresadas en función del gasto efectuado como proporción del Producto Interno Bruto (PIB) en un determinado periodo de tiempo, buscan, a través de la formulación y posterior evaluación de políticas de CTel, garantizar mayores niveles de financiación de I+D+i que contribuyan a lograr mejores resultados en materia económica y de bienestar social.

Al respecto, la Organización para la Cooperación y el Desarrollo Económicos (OCDE, 2005) y la Organización Mundial de la Propiedad Intelectual (OMPI, 2010) han sugerido que las políticas de CTel se constituyen como uno de los determinantes del crecimiento de largo plazo. En ese orden de ideas, la innovación y el desarrollo tecnológico, se erige como uno de los principales factores que explica, además de las diferencias en el crecimiento de la PTF entre-países, la posición competitiva de cada uno de estos frente a sus respectivos pares.

Siguiendo a la OCDE (2015), la innovación y el desarrollo tecnológico se pueden evaluar en diversas etapas de la cadena productiva. Para los efectos, se tienen en cuenta elementos tales como el proceso, el producto, la organización y el mercadeo. Asimismo, es pertinente resaltar

que, más allá de determinar si una firma adelanta programas de I+D+i y/o políticas de CTel, se hace necesario conocer la manera en que se desarrollan estas iniciativas, los tipos de resultados que generan, sus características y los vínculos con otras firmas e instituciones públicas.

Así las cosas, tomando una muestra de 24 países OCDE, la hipótesis que este documento pretende comprobar es que el gasto en I+D+i generaron, durante el periodo 2000–2019, un efecto positivo sobre el crecimiento económico. Para el caso, teniendo en cuenta los postulados de Schumpeter (1911), se plantea un modelo de panel cointegrado a partir del cual, y mediante el uso del estimador de Mínimos Cuadrados Ordinarios Dinámicos para Panel (PDOLS, en inglés), se derivan resultados grupales y a nivel país que dan cuenta de la existencia de una relación de equilibrio de largo plazo, corregida por endogeneidad y autocorrelación, entre las variables analizadas.

Las ventajas de las metodologías empleadas, específicamente en lo que al análisis de cointegración se refiere, permiten identificar relaciones de equilibrio a largo plazo entre variables y analizar una afectación mutua a lo largo del tiempo. Adicionalmente, los paneles cointegrados permiten construir Modelos de Corrección de Errores (ECM, en inglés), que permiten capturar tanto las relaciones de corto plazo como las relaciones de equilibrio de largo plazo entre las variables. Este último, es un análisis que se puede derivar de este estudio. En ese sentido, al utilizar métodos de estimación de relaciones de largo plazo que corrigen por endogeneidad y autocorrelación conlleva a la obtención de mejores resultados frente a los modelos de panel convencionales tanto estáticos como dinámicos.

En línea con lo anterior, las contribuciones de este documento al estado actual del tema objeto de análisis se pueden resumir en: (i) proporciona evidencia empírica robusta en función de la hipótesis que se contrasta; (ii) cuenta con un amplio conjunto de observaciones temporales asociadas a 24 países OCDE de ingresos altos y medio-altos; (iii) obtiene coeficientes a nivel grupal e individual, algo poco común en estudios de panel macroeconómicos; y, (iv) determina mediante el uso de la prueba de causalidad tipo Granger para panel la existencia de una relación entre valores rezagados y valores contemporáneos de las variables estudiadas.

En términos generales, el documento se divide en cinco secciones siendo esta introducción la primera de ellas. La segunda sección resume algunos de los trabajos teóricos y empíricos con mayor relevancia sobre el tema. La tercera sección muestra un breve análisis de las estadísticas descriptivas de las variables, la metodología econométrica a emplear y el modelo a estimar. En la cuarta sección se presentan los resultados derivados de las estimaciones efectuadas. Finalmente, en la quinta sección se presentan las conclusiones.

2. SOBRE LA RELACIÓN ENTRE I+D+i Y CRECIMIENTO ECONÓMICO

Los modelos teóricos y empíricos han evidenciado que el gasto en I+D+i tiene efectos positivos sobre el crecimiento económico. Los desarrollos teóricos de Schumpeter (1911), Baumol (1986), Romer (1986, 1990), Lucas (1988), Grossman y Helpman (1991), Barro y Sala-i-Martin (1991), Young (1991, 1992, 1993), Aghion y Howitt (1992, 1996, 1998, 2001), Muniagurria (1995), Benavides y Forero (2002) y Atun, Harvey y Wild (2007) ilustran la relevancia de I+D+i como generador de crecimiento económico y, además, destacan la importancia de que el gobierno desempeñe un rol en la consecución de un nivel óptimo de I+D+i.

Desde una perspectiva empírica, las contribuciones realizadas se caracterizan por aplicar diversos métodos de estimación. En ese sentido, Lichtenberg (1992) realiza una estimación de Mínimos Cuadrados Ordinarios (OLS, en inglés) con datos de corte transversal para 98 países encontrando que, en promedio, la elasticidad del PIB frente al gasto en I+D fue de 7,0% durante 1970–1980. Coe y Helpman (1994) utilizando un modelo panel agrupado para 22 países OCDE encuentran que, el aumento de 1,0% en el gasto de I+D generó un crecimiento entre 0,4% y 1,0% de la PTF entre 1970–1990.

Mediante un modelo panel, Aghion y Howitt (1998) encuentran que el crecimiento de la PTF para Estados Unidos y el Reino Unido se relaciona positivamente con el gasto en I+D como proporción

del PIB y el tamaño de la economía. Black y Henderson (1999), empleando un modelo de efectos fijos para Estados Unidos durante 1940–1990 muestran que, aquellos estados con mayor crecimiento de capital humano evidenciaron un incremento de 20,0% en los niveles de I+D. Porter y Stern (2000) efectuaron un análisis para 17 países OCDE concluyendo que, entre 1973 y 1993, las patentes como *proxy* de la innovación explicaron entre el 5,0% y el 22,0% del crecimiento de la PTF.

Estimando una ecuación de crecimiento de largo plazo y una de cointegración, Frantzen (2000) mediante un modelo panel para 21 países OCDE muestra que, entre 1965–1991, la influencia de I+D y capital humano sobre el crecimiento de la PTF estuvo entre 15,0% y 20,0%. Empleando un modelo panel para 16 países OCDE durante el periodo 1980–1998, Guellec y van Pottelsberghe (2001) muestran que un aumento del 1,0% en el gasto en I+D generó un crecimiento de 0,13% de la PTF. Por otro lado, utilizando una regresión multivariada, Sylwester (2001) evidencia que en los países del G-7, el gasto en I+D del sector privado contribuyó en 7,0% al crecimiento de la PTF entre 1980 y 1995.

Tomando datos para 10 firmas de Estados Unidos durante 1963 y 1988, Zachariadis (2003) emplea un modelo panel con Mínimos Cuadrados en Tres Etapas (LS3S, en inglés) y muestra que un aumento en 1,0% en el gasto en I+D generó un efecto positivo entre 0,8% y 1,2% en la PTF. Wong, Ho y Autio (2004), tomando datos de corte transversal para las industrias de países de la Unión Europea (UE) estiman una regresión lineal por OLS encontrando que, un aumento en 1,0% en el gasto en I+D+i generó un incremento de 0,85% en la PTF.

Efectuando una comparación entre OLS con efectos fijos y el Método Generalizado de Momentos (GMM, en inglés), Ulku (2004) muestra que para 20 países OCDE el aumento del 1,0% en el gasto per cápita de I+D incrementó la innovación entre 0,40% y 0,50%; asimismo, un aumento del 1,0% en el gasto per cápita de I+D incrementó la innovación entre 0,20% y 0,30% durante el periodo 1981–1997. Utilizando datos para 13 países OCDE, Guloglu y Tekin (2012) estiman un Panel de Vectores Autorregresivos (PVAR, en inglés) trivariado a través del GMM corroborando que, entre 1991 y 2007, las relaciones causales entre I+D+i y crecimiento y crecimiento e I+D+i, fueron positivas y significativas.

Para un conjunto de 35 países, Aghion, Akcigit y Howitt (2013) muestran que la apertura económica, el gasto en I+D y políticas de CTel adecuadas favorecieron el crecimiento durante el periodo 1960–2000. Maradana, Pradhan, Dash, Gaurav, Jayakumar y Chetterjee (2017) empleando un modelo VAR prueban que existe causalidad unidireccional y bidireccional en el sentido de Granger entre el gasto en I+D+i y el crecimiento de la producción de la UE entre 1989 y 2014. Para 25 países OCDE en el periodo 1996–2016, Aali-Bujari y Venegas-Martínez (2022) encuentran evidencia de causalidad bidireccional entre I+D y el PIB per cápita y causalidad bidireccional entre el número de investigadores y el PIB per cápita.

A nivel regional, Díaz-Bautista (2003) utilizando datos de corte transversal para México muestra que, entre 1970 y 2000, mayor concentración geográfica de I+D+i generó mayores niveles de formación de capital humano y de crecimiento. Estudiando la relación entre patentes como *proxy* de innovación y el crecimiento, Campo (2012) encontró que, durante 1990–2010, un aumento de 1,0% en su stock generó un incremento del PIB entre 0,5% y 0,7%. En la misma línea, Campo y Herrera (2016) muestran que, entre 1990 y 2011, un incremento de 10,0% en las patentes registradas por residentes trajo consigo un aumento en el PIB de 0,25%, mientras que el mismo incremento visto desde aquellas registradas por no residentes, derivó en incrementos de 0,44%.

Pese a que gran parte del programa de investigación, tanto teórico como empírico, da cuenta de la existencia de una relación positiva entre I+D+i y crecimiento económico, es necesario mencionar que Jones (1995), encuentra que el crecimiento de la PTF no tuvo relación con el crecimiento en la cantidad de científicos e ingenieros en Francia, Alemania, Japón y Estados Unidos. En la misma dirección, partiendo de Grossman y Helpman (1991), Arnold (1998) muestra que el ritmo de crecimiento de largo plazo no se ve afectado por los incentivos otorgados a los programas de I+D+i. Recientemente, y mediante una regresión multivariada para 20 países OCDE, Pessoa (2010) muestra que la relación entre I+D+i y la tasa de crecimiento del PIB per cápita es débil.

3. DATOS Y METODOLOGÍA

3.1 Definición y fuentes de información

Para los 24 países de ingresos altos y medio-altos de la OCDE, previamente mencionados, se construyó una base de datos tomando como insumo información de la OCDE y la OMPI para el periodo 2000-2019. El gasto en I+D (GERD), medido en términos per cápita en función de la Paridad de Poder Adquisitivo (PPA) en dólares (USD), se define el cómo el gasto total realizado por todas las firmas residentes, institutos de investigación, laboratorios universitarios, gubernamentales y privados. La innovación, se mide como el stock de solicitudes de patentes en términos per cápita (PAT). Finalmente, el PIB per cápita (PIBp), que da cuenta de la relación entre producción y población, está expresado en precios y PPA constantes en USD.

Frente al uso de las patentes como *proxy* de la innovación, Nelson y Winter (1982) argumentan que esta medida se constituye como un buen indicador que cuantifica el desarrollo tecnológico toda vez que representan, de manera concreta, la creación y difusión del conocimiento de la actividad productiva. Asimismo, Archibugi y Pianta (1996), Acs y Anzelin (2002), Poop (2005) y Kim y Kim (2012), entre otros, muestran que las patentes, al ser un resultado directo de los procesos de innovación, son apropiadas para comprender la intensidad de la actividad inventiva y su dirección.

En resumen, la Tabla 1 presenta las variables utilizadas en esta investigación y cómo se denotan, así como sus promedios, niveles máximos, niveles mínimos, y desviaciones estándar, proporcionando una visión general de las estadísticas principales de las variables, lo que permite una rápida comprensión de su distribución y variabilidad en el conjunto de países analizado.

Tabla 1. Estadísticas descriptivas de las variables a utilizar

Variable	GERD	PAT	PIBp
Promedio	643,80	558,07	35417,15
Máximo	2070,72	4234,75	83766,56
Mínimo	9,40	12,18	8534,54
Desviación	481,07	893,25	12347,59

Fuente: Elaboración propia.

3.2 Metodología

La aplicación de diversas técnicas y especificaciones econométricas ha proporcionado evidencia que corrobora la existencia de una o varias relaciones entre I+D+i y crecimiento económico. Con el fin de contribuir al estado del arte de la investigación, mediante el uso de técnicas de panel cointegrados, se implementa el estimador PDOLS para derivar un modelo a nivel grupal e individual y determinar la relación de equilibrio de largo plazo entre las variables analizadas. Acto seguido, se emplea una prueba de causalidad tipo Granger para panel que da cuenta de la existencia y direccionalidad de las relaciones entre estas variables.

En términos generales, las técnicas de panel cointegrados involucran dos pruebas. Una de raíces unitarias, para determinar el orden de integración de las series de tiempo de cada unidad transversal y otra de cointegración, para establecer la existencia de relaciones de equilibrio de largo plazo entre las variables. Las pruebas de raíces unitarias consideradas son: Levin, Lin y Chu (2002), Breitung (2000), Im, Pesaran y Shin (2003), Choi (2001) y Hadri (2000). Las cuatro primeras toman como hipótesis nula la presencia de raíz unitaria, mientras que la prueba de Hadri establece como hipótesis nula la presencia de estacionariedad. Por su parte las pruebas

de cointegración aplicadas son: Kao (1999), Pedroni (1999, 2004) y Maddala y Wu (1999), donde su hipótesis nula es la no existencia de cointegración.

Específicamente, y de comprobarse la existencia de al menos una relación de equilibrio entre las variables objeto de estudio, se estima la siguiente ecuación:

(1)

$$(PIBp)_{it} = \alpha_i + \beta_i(PATp)_{it} + \theta_i(GERDp)_{it} + \varepsilon_{it}$$

donde $Ln(PIBp)$ corresponde al logaritmo natural del PIB en términos per cápita en función de la PPA, $Ln(PATp)$ es el logaritmo natural del stock de patentes en términos per cápita y $Ln(GERDp)$ representa el logaritmo natural del gasto en I+D en términos per cápita en función de la PPA. Para el caso, los subíndices i y t hacen alusión a los países de la muestra y al periodo de tiempo, respectivamente. Asimismo, el término ε_{it} representa el error que se asume como idiosincrático.

Debido a la presencia de errores correlacionados y regresores endógenos, la estimación de la ecuación (1) por OLS no permite obtener resultados consistentes en términos de eficiencia. Dado lo anterior, se hace necesario implementar el estimador de Mínimos Cuadrados Ordinarios Dinámicos (DOLS, en inglés) propuesto por Saikkonen (1991), Phillips y Loretan (1991) y generalizado por Stock y Watson (1993) para derivar la relación de cointegración en un modelo uniecuacional. En ese sentido, una de las ventajas de utilizar DOLS respecto a otro tipo de técnicas de estimación, es que, al emplear una corrección paramétrica con adelantos y rezagos de las variables explicativas en su primera diferencia, además de su valor contemporáneo, se obtienen estimadores asintóticamente insesgados con una distribución normal.

Teniendo en cuenta que el desarrollo tecnológico tiene efectos heterogéneos, se emplea el estimador PDOLS propuesto por Kao y Chiang (2000) y Mark y Sul (2003). Una de las ventajas de este estimador es que permite la heterogeneidad individual a través de diversas dinámicas de corto plazo, efectos fijos y tendencias temporales específicas de cada individuo. Adicionalmente, al permitir un grado de dependencia cruzada a través de la presencia de efectos específicos de tiempo, se obtienen los coeficientes individuales asociados que acompañan a $Ln(PATp)$ y $Ln(GERDp)$ para cada uno de los 24 países OCDE. Finalmente, y con el propósito de estudiar las relaciones de causalidad de largo plazo, se aplica la prueba de causalidad en el sentido de Granger (1969) para panel propuesta por Dumitrescu y Hurlin (2012) que permite la existencia de diferentes estructuras paramétricas entre los 24 países OCDE. Este tipo de causalidad en un panel heterogéneo indica si cambios en una variable preceden a cambios en otra variable, esto es, si x predice el comportamiento de y .

4. RESULTADOS

4.1 De las pruebas de raíces unitarias y de cointegración

Para determinar el orden de integración $I(d)$, se presentan los resultados de las pruebas de raíces unitarias aplicadas a las series en nivel y en su primera diferencia. La Tabla 2 muestra los resultados de las pruebas a las variables en nivel mostrando no estacionariedad y la Tabla 3 presenta los resultados para las variables en su primera diferencia evidenciando estacionariedad. En ambos casos, con una significancia del 5,0%. Así las cosas, los resultados de las cinco pruebas de raíces unitarias muestran que las variables son $I(1)$ en nivel.

Tabla 2. Resultados de las pruebas de raíces unitarias en nivel

Prueba	Ln(PIBp)		Ln(PATp)		Ln(GERDp)	
	Estad	Prob	Estad	Prob	Estad	Prob
Levin, Lin y Chu	-1,20	0,11	-1,54	0,06	-0,02	0,12
Breitung	-0,02	0,39	-0,06	0,47	0,17	0,57
Im, Pesaran y Shin	-1,39	0,08	-1,79	0,03	-1,12	0,13
Choi	44,50	0,61	44,82	0,60	32,7	0,95
Hadri	5,90	0,00	9,66	0,00	6,52	0,00

Fuente: Elaboración propia, los resultados fueron obtenidos utilizando los paquetes EViews y R.

Tabla 3. Resultados de las pruebas de raíces unitarias en su primera diferencia

Prueba	D[Ln(PIBp)]		D[Ln(PATp)]		D[Ln(GERDp)]	
	Estad	Prob	Estad	Prob	Estad	Prob
Levin, Lin y Chu	-11,07	0,00	-10,51	0,00	-10,19	0,00
Breitung	-8,87	0,00	-7,21	0,00	-8,25	0,00
Im, Pesaran y Shin	-6,77	0,00	-12,26	0,00	-9,12	0,00
Choi	151,39	0,00	234,29	0,60	188,70	0,00
Hadri	0,70	0,24	0,28	0,38	0,94	0,17

Fuente: Elaboración propia, los resultados fueron obtenidos utilizando los paquetes EViews y R.

Las tres pruebas de cointegración realizadas dan cuenta de la existencia de una relación de equilibrio de largo plazo entre las variables. La Tabla 4 muestra que, a un nivel de significancia del 1,0%, es posible rechazar la hipótesis nula sobre la no existencia de cointegración entre las variables objeto según las pruebas de Kao y Pedroni, evidenciando así que existe cointegración, resultado confirmado por la prueba de Maddala y Wu de que al menos existen dos vectores de cointegración entre las tres variables analizadas.

Tabla 4. Resultados de las pruebas de cointegración

De la prueba de cointegración de Kao		
Prueba residual de cointegración	Estadístico-t	Probabilidad
ADF	-3,3431	0,00
Varianza residual	0,0008	
Varianza HAC	0,0010	

De la prueba de cointegración de Pedroni

Panel	Intra Grupos		Grupo	Entre Grupos	
	Estadístico	Probabilidad		Estadístico	Probabilidad
V	-1,21	0,88	Rho	3,09	0,99
Rho	1,66	0,95	PP	-2,72	0,00
PP	-3,03	0,00	ADF	-6,73	0,00
ADF	-6,41	0,00			

De la prueba de cointegración de Maddala y Wu

Relaciones de cointegración	Valor de Fisher con prueba de traza de Johansen		Valor de Fisher con prueba de Lamba Max de Johansen	
	Estadístico	Probabilidad	Estadístico	Estadístico
Ninguna	247,0	0,00	202,6	0,00
A lo sumo una	102,3	0,00	97,37	0,00
A lo sumo dos	50,76	0,36	50,76	0,36

Fuente: Elaboración propia, los resultados fueron obtenidos utilizando los paquetes EViews y R.

4.2 Del panel cointegrado a nivel grupal e individual

Partiendo de los resultados obtenidos sobre la existencia de cointegración entre las variables, y utilizando el estimador PDOLS, la ecuación (1) estimada viene dada por:

(2)

$$(\hat{PIB}p)_{it} = \alpha_i + 0,52(PATp)_{it} + 1,27(GERDp)_{it}$$

Esta relación de equilibrio de largo plazo muestra un efecto positivo del stock de patentes, como proxy de la innovación, sobre el crecimiento y del gasto en I+D sobre el crecimiento. Generalizando los resultados, para los 24 países OCDE es válido concluir que, un aumento de 1,0% en el stock de patentes genera, en el largo plazo, un aumento en el PIB de 0,52%. Asimismo, un aumento del 1,0% en el gasto en I+D genera, en el largo plazo, un aumento de 1,27% en el PIB.

Los resultados de los coeficientes para cada país derivados de la estimación PDOLS se presentan en Tabla 5. Estos hallazgos son de gran utilidad ya que permiten confrontar los coeficientes obtenidos para cada país con respecto a los de sus pares OCDE, a efectos de establecer líneas de base para evaluaciones y/o comparaciones futuras en la materia. Además, teniendo en cuenta los resultados de la estimación grupal, fungen como evidencia para la formulación de políticas asociadas a las variables de estudio.

Tabla 5. Estimación de coeficientes heterogéneos a nivel país.

País	$(PATp)_{it}$	ErrStd	$(GERDp)_{it}$	ErrStd
Alemania	1,081	0,067	0,746	0,053
Austria	0,522	0,016	1,255	0,153
Bélgica	0,465	0,046	3,918	1,257
Canadá	0,491	0,207	1,198	0,213
Colombia	0,428	0,145	0,290	0,111
Corea del Sur	1,178	0,054	0,390	0,079
Eslovaquia	0,735	0,598	1,371	0,460
España	1,177	0,286	0,765	0,210
Estados Unidos	0,624	0,024	1,061	0,389
Finlandia	0,449	0,357	1,122	0,279
Francia	1,048	0,038	0,464	0,032
Hungría	0,680	0,236	1,266	0,164
Irlanda	0,482	0,104	1,397	0,057
Israel	0,721	0,104	0,760	0,104
Italia	1,180	0,016	0,420	0,134
Japón	0,710	0,033	0,709	0,036
Lituania	0,344	0,807	2,392	0,430
México	0,458	0,039	1,528	0,078
Países bajos	0,458	0,089	1,528	0,117
Polonia	0,420	0,198	1,621	0,176
Portugal	1,148	0,457	3,192	0,317
Reino Unido	0,727	0,075	0,986	0,071
República Checa	0,840	0,964	1,059	0,463
Turquía	1,195	0,692	2,678	0,600
Panel	0,522	0,114	1,271	0,101

Fuente: Elaboración propia, los resultados fueron obtenidos utilizando los paquetes EViews y R.

4.3 De la prueba de causalidad de Granger para modelos panel

La extensión de la metodología propuesta por Granger (1969) planteada por Dumitrescu y Hurlin (2012) para detectar relaciones de causalidad en modelos panel, muestra que el PIB no causa al stock de patentes, pero este sí causa al PIB. Por otro lado, se encuentra que el gasto en I+D causa al stock de patentes, pero este no causa al gasto en I+D. Por último, el gasto en I+D causa al PIB pero el PIB no causa al gasto en I+D.

En síntesis, las relaciones de causalidad vienen expresadas como: $[(PATp)_{it} \rightarrow (PIBp)_{it}]$; $[(GERDp)_{it} \rightarrow (PATp)_{it}]$; γ , $[(GERDp)_{it} \rightarrow (PIBp)_{it}]$. Los resultados se muestran en la Tabla 6.

Tabla 6: Resultados de la prueba de causalidad de Dumitrescu y Hurlin

Hipótesis nula	W	Zbar	Prob
$Ln(PIBp)$ no causa homogéneamente a $Ln(PATp)$	4,80	1,24	0,21
$Ln(PATp)$ no causa homogéneamente a $Ln(PIBp)$	6,55	3,31	0,00
$Ln(GERDp)$ no causa homogéneamente a $Ln(PATp)$	9,44	6,72	0,00
$Ln(PATp)$ no causa homogéneamente a $Ln(GERDp)$	5,10	1,59	0,10
$Ln(GERDp)$ no causa homogéneamente a $Ln(PIBp)$	9,06	6,28	0,00
$Ln(PIBp)$ no causa homogéneamente a $Ln(GERDp)$	2,88	-1,02	0,30

Fuente: Elaboración propia, los resultados fueron obtenidos utilizando los paquetes EViews y R.

5. CONCLUSIONES

El documento presenta evidencia empírica robusta del efecto positivo que el gasto en I+D+i generó sobre el crecimiento económico durante el periodo 2000–2019 en 24 países OCDE. Para el caso, tomando las patentes como proxy de la innovación, se corrobora que las relaciones entre el gasto en I+D y el stock de patentes, el stock de patentes y el crecimiento, y el gasto en I+D y el crecimiento son positivas y significativas. Al respecto, es necesario mencionar que estas relaciones están expresadas en términos per cápita.

Además de reforzar los hallazgos retratados en la revisión de literatura presentada, esta investigación realiza dos contribuciones adicionales a la literatura empírica derivada del uso de la metodología panel, especialmente a aquella que utiliza el estimador PDOLS, no solo para determinar una relación de largo plazo entre las variables en un panel heterogéneo, sino también para estimar los coeficientes a nivel grupal como individual. Asimismo, proporciona evidencia sobre la existencia de relaciones causales determinadas mediante la aplicación de una prueba de extensión de la metodología de Granger.

En línea con lo anterior, al aplicar pruebas de raíces unitarias y de cointegración, se encuentra que las variables analizadas no son estacionarias, $I(1)$, y están cointegradas. En términos generales, esta relación de equilibrio de largo plazo vislumbra un efecto positivo del gasto en I+D+i sobre el crecimiento económico. Así las cosas, para el panel de 24 países OCDE es válido concluir que, un aumento de 1,0% en el stock de patentes genera, en el largo plazo, un aumento en el PIB de 0,52%. Asimismo, un aumento del 1,0% en el gasto en I+D genera, en el largo plazo, un aumento de 1,27% en el PIB.

Los resultados derivados del análisis van en línea con la teoría de que las innovaciones tecnológicas son la fuente principal del crecimiento económico. Bajo esta premisa propuesta por Schumpeter (1911), la oferta tecnológica se constituye como motor principal de la innovación debido a que la generación de nuevas tecnologías trae consigo la creación de nuevos mercados. Para el caso, la hipótesis sugiere la existencia de una relación positiva entre I+D+i y crecimiento, con un enfoque unidireccional de causalidad del gasto en I+D y las patentes como generadores del desarrollo tecnológico y de crecimiento. Por otro lado, los resultados de causalidad obtenidos mediante la aplicación de la extensión de la prueba tipo Granger para panel, reflejan elementos importantes de política. El hecho de que el gasto en I+D cause a las patentes, indica que las políticas enfocadas a incrementar el gasto en I+D son relevantes toda vez que, en algún momento del tiempo, derivarán en un aumento de las solicitudes de patentes. Por último, el resultado principal del estudio de relaciones causales radica en que cualquier esfuerzo que se haga en el pasado y en el presente trae consigo efectos positivos en el crecimiento económico de los países.

En ese sentido, una recomendación generalizada y derivada de los resultados obtenidos para los 24 países OCDE radica en reforzar y/o complementar, de manera transversal, un conjunto de políticas enfocadas al fomento de procesos de CTel vía I+D que resulten en la adopción de nuevas tecnologías desarrolladas con el impulso tecnológico que los gobiernos y las firmas están en capacidad de promover. En ese orden de ideas, es pertinente que además de incrementar los incentivos fiscales otorgados a las firmas desarrolladoras de I+D, de manera simultánea, los gobiernos se enfoquen en identificar, promover y financiar los procesos de I+D derivados de los programas de CTel.

REFERENCIAS

- Aali-Bujari, A., & Venegas-Martínez, F. (2022). Evaluación del impacto de la inversión en investigación y desarrollo y el número de investigadores en el crecimiento económico. *Revista de Métodos Cuantitativos para la Economía y la Empresa* (35), 3-15.
- Acs, Z., & Anselin, L. (2002). Patents and innovation count as measures of regional production of new knowledge. *Research policy*, 31(7), 1069-1085.
- Aghion, P., & Howitt, P. (1992). A model of growth through creative destruction. *Econometrica*, 60 (2), 323-351.
- Aghion, P., & Howitt, P. (1996). Research and development in the growth process. *Journal of Economic Growth*, 1, 49-73.
- Aghion, P., & Howitt, P. (1998). *Capital accumulation and innovation as complementary factors in long-run growth*. Cambridge, Massachusetts: The MIT Press.
- Aghion, P., Harris, C., Howitt, P., & Vickers, J. (2001). Competition, imitation and growth with Step-by-Step innovation. *The Review of Economic Studies*, Vol. 68 (3), 467-492.
- Aghion, P., Akcigit, U., & Howitt, P. (2015). The Schumpeterian growth paradigm. *Annual Review of Economics*, 7, 557-575.
- Archibugi, D., & Pianta, M. (1996). Measuring technology through patents and innovation surveys. *Technovation*, 16 (9), 451-468.
- Atun, R., Harvey, I., & Wild, J. (2007). Innovation, patents and economic growth. *International Journal of Innovation Management*. 11(2), 279-297.
- Arnold, L. (1998). Growth, welfare and trade in an integrated model of human-capital accumulation and research. *Journal of Macroeconomics*, 20 (1), 81-105.
- Barro, R., & Sala-i-Martin, X. (1991). Economic growth and convergence across the United States. *NBER Working Paper*, 3419.
- Baumol, W. (1986). Productivity growth, convergence, and welfare. *American Economic Review*, 76, 1072-1085.

Análisis empírico de la relación entre investigación, desarrollo, innovación, y crecimiento económico en países OCDE

Juan Camilo Villar Otálora, Jacobo Alberto Campo Robledo

- Benavides, O., & Forero, C. (2002). Crecimiento endógeno: Conocimiento y patentes. *Revista de Economía Institucional*, 4 (6), 109–131.
- Black, D., & Henderson, V. (1999). A theory of urban growth. *Journal of Political Economy*, 107(2), 252–284.
- Breitung, J. (2000). The local power of some unit root tests for panel data. *Advances in Econometrics*, 15, 161–178.
- Campo, J. (2012). Impacto de las patentes sobre el crecimiento económico: Un modelo panel cointegrado 1990 – 2010. *Revista Equidad y Desarrollo*, (18), 65–88.
- Campo, J., & Herrera, J. (2016). Patentes y crecimiento económico: ¿Innovación de residentes o no residentes? *Revista Desarrollo y Sociedad*, 76, 243–272.
- Choi, I. (2001). Unit root tests for panel data. *Journal of International Money and Finance*, 20, 249–272.
- Coe, D., & Helpman, E. (1994). *International R&D spillovers*. Elsevier Science.
- Díaz-Bautista, A. (2003). Convergence and Economic Growth considering Human Capital and R&D Spillovers. *Revista Mexicana de Economía y Finanzas*, 2(2), 127–143.
- Dumitrescu, E.-I., & Hurlin, C. (2012). Testing for Granger non-causality in heterogeneous panels. *Economic Modelling*, 29, 1450–1460.
- Frantzen, D. (2000). R&D, Human Capital and International Technology Spillovers: A cross-country analysis. *Journal of Economics*, 102(1), 57–75.
- Granger, C. (1969). Investigating causal relations by econometric models and cross-spectral methods. *Econometrica*, 37, 424–438.
- Guloglu, B., & Tekin, B. (2012). A panel causality analysis of the relationship among research and development, innovation, and economic growth in high-income OECD countries. *Eurasian Economic Review*, 2(1), 32–47.
- Grossman, G., & Helpman, E. (1991). *Innovation and growth in the global economy*. The MIT Press, Cambridge, MA.
- Guellec, D., & van Pottelsberghe, B. (2001). R&D and productivity growth: Panel data analysis of 16 OECD countries. *OECD Economic Studies*, No. 33, 2001/II.
- Hadri, K. (2000). Testing for stationarity in heterogeneous panel data. *Econometrics Journal*, 3, 148–161.
- Im, K. S., Pesaran, M. H., & Shin, Y. (2003). Testing for unit roots in heterogeneous panels. *Journal of Econometrics*, 115, 53–74.
- Jones, C.I. (1995). R&D – Based models of economic growth. *The Journal of Political Economy*, 103 (4), 759–784.
- Kao, C. (1999). Spurious regression and residual-based tests for cointegration in panel data. *Journal of Econometrics*, 90, 1–44.
- Kao, C., & Chiang, M.H. (2000). On the Estimation and Inference of a Cointegrated Regression in Panel Data. In: Baltagi, B., Ed., *Nonstationary Panels, Panel Cointegration, and Dynamic Panels*, JAI Press, Amsterdam, 161–178.
- Kim, M., & Kim, C. (2012). On a patent analysis method for technological convergence. *Procedia – Social and Behavioral Sciences*, 40, 657–663.
- Levin, A., Lin, C.F., & Chu, C.S.J. (2002). Unit root tests in panel data: Asymptotic and finite-sample properties. *Journal of Econometrics*, 108, 1–24.
- Lichtenber, F. (1992). R&D investment and international productivity differences. WP N° 4161, NBER.
- Lucas, R.E. (1988). On the mechanics of economic development. *Journal of Monetary Economics* 22, 3–42.
- Maddala, G., & Wu, S. (1999). A comparative study of Unit Root Tests and a New Simple Test. *Oxford Bulletin of Economics and Statistics*, 61, 631–652.
- Mark, N. C., & Sul, D. (2003). Cointegration Vector Estimation by Panel DOLS and Long-Run Money Demand. *Oxford Bulletin of Economics and Statistics*, 65, 80.
- Muniagurria, M. (1995). Growth and research and development. *Journal of Economic Dynamics and*

Análisis empírico de la relación entre investigación, desarrollo, innovación, y crecimiento económico en países OCDE

Juan Camilo Villar Otálora, Jacobo Alberto Campo Robledo

Control, *Elsevier*, 19(1-2), 207-235.

Maradana, R., Pradhan, R., Dash, S., Gaurav, K., Jayakumar, M., & Chetterjee, D. (2017). Does innovation promote economic growth? Evidence from European countries. *Journal of Innovation and Entrepreneurship*, 6, 1.

Nelson, R., & Winter, S. (1982). *An Evolutionary Theory of Economic Change*. The Belknap Press Harvard University Press. Cambridge.

Organización para la Cooperación y el Desarrollo Económicos. (2005). *Innovation Policies: Innovation in the Business Sector*. Paris: OECD.

Organización para la Cooperación y el Desarrollo Económicos (2015). *Frascati Manual 2015: Guidelines for Collecting and Reporting Data on Research and Experimental Development*. OECD Publishing, Paris.

Organización Mundial para la Propiedad Intelectual. (2010). *Intellectual Property as an economic asset: key issues in valuation and exploitation*. Geneva. WIPO.

Pedroni, P. (1999). Critical values for cointegration tests in heterogeneous panels with multiple regressors. *Oxford Bulletin of Economics and statistics*, 61, 653-670.

Pedroni, P. (2004). Panel Cointegration: asymptotic y finite sample properties of pooled time series with an application to the PPP hypothesis: New Results. *Econometric Theory*, 20, 597-627.

Pessoa, A. (2010). R&D and economic growth: How strong is the link? *Economics Letters*, 107 (2), 152- 154.

Phillips, P., & Loretan, M. (1991), Estimating long-run economic equilibria. *Review of Economic Studies* 58, 407-436.

Popp, D. (2005). Lessons from patents: Using patents to measure technological change in environmental models. *Ecological Economics*, 54 (2-3), 209-226.

Porter, M., & Stern, S. (2000). Measuring the “ideas” production function: Evidence from international patent output. *NBER, Working Paper No. 7891*.

Ramsey, F. (1928). A mathematical theory of saving. *Economic Journal*, 38(152), 543-559.

Romer, P. (1986). Increasing returns and long-run growth. *Journal of Political Economy*, 94, 1002-1037.

Romer, P. (1990). Endogenous technological change. *Journal of Political Economy*, 98, S71-S102.

Saikkonen, P. (1991), Asymptotically efficient estimation of cointegration regressions. *Econometric Theory* 7, 1-21.

Schumpeter, J.A. (1911). *Theorie der Wirtschaftlichen Entwicklung*. Leipzig: Verlag von Duncker und Humblot.

Solow, R. (1956). A Contribution to the Theory of Economic Growth. *The Quarterly Journal of Economics*, 70, (1), 65-94.

Stock, J., & Watson, M. (1993). A simple estimator of cointegrating vectors in higher order integrated systems. *Econometrica*, 61 (4), 783-820.

Sylwester, K. (2001). R&D and economic growth. *Knowledge, Technology, & Policy*, Winter, 13 (4), 71-84.

Ulku, H. (2004). R&D, innovation and economic growth: An empirical analysis. *IMF Working Paper, Research Department*, WP, 04, 185.

Wong, P. K., Ho, Y. P., & Autio, E. (2004). Entrepreneurship, Innovation and Economic Growth: Evidence from GEM data. *Small Business Economics*, 24, 335-50.

Young, A. (1991). Learning by Doing and the Dynamic Effects of International Trade, *Quarterly Journal of Economics*, 106, 2.

Young, A. (1992). Invention and Bounded Learning by Doing, *Journal of Political Economy*, 101, 3.

Young, A. (1993). Substitution and Complementary in Endogenous Innovation of Economics, *Quarterly Journal of Economics*, 108, 3.

Zachariadis, M. (2003). R&D, innovation, and technological progress: A test of the Schumpeterian framework without scale effects. *Canadian Journal of Economics, Revue canadienne d'Économique*, 36(3), 566-586.