

Aali-Bujari, Alí; Venegas-Martínez, Francisco

## Article

# 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

## Provided in Cooperation with:

Universidad Pablo de Olavide, Sevilla

*Suggested Citation:* Aali-Bujari, Alí; Venegas-Martínez, Francisco (2023) : 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, ISSN 1886-516X, Universidad Pablo de Olavide, Sevilla, Vol. 35, pp. 3-15, <https://doi.org/10.46661/revmetodoscuanteconempresa.5479>

This Version is available at:

<https://hdl.handle.net/10419/286298>

### Standard-Nutzungsbedingungen:

Die Dokumente auf EconStor dürfen zu eigenen wissenschaftlichen Zwecken und zum Privatgebrauch gespeichert und kopiert werden.

Sie dürfen die Dokumente nicht für öffentliche oder kommerzielle Zwecke vervielfältigen, öffentlich ausstellen, öffentlich zugänglich machen, vertreiben oder anderweitig nutzen.

Sofern die Verfasser die Dokumente unter Open-Content-Lizenzen (insbesondere CC-Lizenzen) zur Verfügung gestellt haben sollten, gelten abweichend von diesen Nutzungsbedingungen die in der dort genannten Lizenz gewährten Nutzungsrechte.

### Terms of use:

*Documents in EconStor may be saved and copied for your personal and scholarly purposes.*

*You are not to copy documents for public or commercial purposes, to exhibit the documents publicly, to make them publicly available on the internet, or to distribute or otherwise use the documents in public.*

*If the documents have been made available under an Open Content Licence (especially Creative Commons Licences), you may exercise further usage rights as specified in the indicated licence.*



<https://creativecommons.org/licenses/by-sa/4.0/>



## Evaluación del impacto de la inversión en investigación y desarrollo y el número de investigadores en el crecimiento económico

AALI-BUJARI, ALÍ

Universidad Autónoma del Estado de Hidalgo (México)  
Correo electrónico: [alibujari@yahoo.es](mailto:alibujari@yahoo.es)

VENEGAS-MARTÍNEZ, FRANCISCO

Instituto Politécnico Nacional (México)  
Correo electrónico: [fvenegas1111@yahoo.com.mx](mailto:fvenegas1111@yahoo.com.mx)

### RESUMEN

Esta investigación analiza el impacto de la inversión en Investigación y Desarrollo (I+D) y del número de investigadores en el crecimiento económico de algunas de las economías de la Organización para la Cooperación y el Desarrollo Económicos (OCDE), para el periodo 1996-2016. Se realiza un análisis de causalidad en el sentido de Granger y se estima un modelo de datos panel. Los datos son obtenidos de Banco Mundial. Se encuentra evidencia empírica de una causalidad bidireccional entre la I+D y el PIB per cápita, pero predominantemente I+D causa PIB. También se encuentra una causalidad bidireccional entre el número de investigadores y el PIB per cápita, pero predominantemente el PIB causa el número de investigadores. Mientras que el modelo de panel dinámico MGM-sistema en una etapa muestra que el crecimiento económico es afectado positivamente por la inversión en I+D y el número de investigadores. Este trabajo se distingue de otros en los siguientes aspectos: 1) considera una muestra de 25 países de OCDE en el periodo 1996-2016; 2) tiene una mayor disponibilidad de datos, y 3) se realiza un análisis de datos panel dinámico que permite utilizar una mayor cantidad de países, variables y períodos.

**Palabras clave:** inversión en investigación y desarrollo; número de investigadores; crecimiento económico; causalidad de Granger; datos panel.

**Clasificación JEL:** O10, O30, O40.

**MSC2010:** 91G70, 91G99.

Artículo recibido el 4 de diciembre de 2020 y aceptado el 29 de junio de 2022.

# Assessment of the impact of investment in research and development and the number of researchers on economic growth

## ABSTRACT

This research analyzes the impact of investment in Research and Development (R&D) and the number of researchers on the economic growth of some of the economies of the Organization for Economic Cooperation and Development (OECD), for the period 1996-2016. A causality analysis in the sense of Granger is performed and a panel data model is estimated. Data are obtained from the World Bank. There is empirical evidence of bidirectional causality between R&D and GDP per capita, but predominantly R&D Granger-causes GDP. Bidirectional causality is also found between the number of researchers and GDP per capita, but predominantly GDP Granger-causes the number of researchers. While the dynamic panel model of the MGM system in one stage shows that economic growth is positively affected by investment in R&D and the number of researchers. This work differs from others in the following aspects: 1) it considers a sample of 25 OECD countries in the period 1996-2016; 2) there is a greater availability of data, and 3) a dynamic panel data analysis is carried out that allows the use of a greater number of countries, variables and periods.

**Keywords:** investment in research and development; number of researchers; economic growth; Granger causality; panel data.

**JEL classification:** O10, O30, O40.

**MSC2010:** 91G70, 91G99.



## 1. Introducción

Los nexos entre el progreso tecnológico y el crecimiento económico se comienzan a analizar en el modelo teórico en el trabajo seminal de Solow (1956), con el cual inicia la teoría del crecimiento exógeno que dominó la teoría del crecimiento económico hasta que aparecen las investigaciones de Romer (1986), Lucas (1988), Rebelo (1991) surgiendo así el crecimiento endógeno, que da un salto cualitativo con respecto al crecimiento exógeno que consiste en explicar de dónde proviene el progreso tecnológico; Romer lo explica mediante el conocimiento tecnológico y Lucas lo relaciona con el capital humano. Más tarde surge el crecimiento endógeno “schumpeteriano” que explica el progreso tecnológico mediante los procesos de innovación tecnológica, como en Groosman y Helpman (1991), Aghion y Howitt (1992) y Shefer y Frenkel (2005), entre otros. Estos autores examinan el papel de la inversión en I+D y el número de patentes con el crecimiento económico. El enfoque schumpeteriano se basa en las ideas de Schumpeter (1911), que fue el primero en destacar el papel de la innovación en el dinamismo económico. La mayoría de los trabajos destacan la importancia que tienen los procesos de innovación tecnológica en el crecimiento económico; sin embargo, existen otros autores en desacuerdo como Jones (1995), Arnold (1998) y Pessoa (2010), por lo que, no hay consenso sobre esta relación.

En este contexto Doukas y Switzer (1992) evalúan la respuesta del mercado de valores a los planes de gasto en I+D de las empresas estadounidenses. Para ello, los autores relacionan los gastos en actividades innovadoras con el valor de mercado de la empresa y analizan una muestra de empresas que representan el 58% de la I+D financiada por el sector privado en EE.UU.; sus resultados indican que el mercado responde favorablemente a mayores aumentos en el gasto en I+D después de tener en cuenta las diferencias en las bases de capital de conocimiento de las empresas. Aunado a lo anterior, los autores encuentran tasas de retorno altas a la inversión en I+D. Por otro lado, Wakelin (2001) analiza la relación entre el aumento de la productividad y el gasto en I+D para 170 empresas del Reino Unido. Para ello, estima una función de producción Cobb-Douglas y encuentra un impacto positivo y significativo para el gasto en I+D de las empresas con respecto al crecimiento de la productividad. Por otro lado, el historial de la innovación tanto de la empresa como del sector parece ser importante para influir en la tasa de rendimiento del gasto en I+D.

Por otro lado, Guangzhou (2001) analiza la relación del gasto en I+D con la productividad de las empresas chinas. Para ello, utiliza la función de producción, la inversión en I+D privada, la inversión en I+D pública y estima modelos de corte transversal de empresas chinas de diferentes tipos. El autor encuentra una fuerte relación directa entre la inversión en I+D privada y la productividad de las empresas, mientras que la inversión en I+D pública contribuye indirectamente a la productividad de las empresas al promover la I+D privada. El autor también sugiere proporcionar incentivos para que las empresas inviertan en I+D como una estrategia para buscar el apoyo del gobierno. Cameron et al. (2005) examinan los roles que desempeñan el gasto en I+D, el comercio internacional y el capital humano para impulsar la productividad, mediante un panel de 14 industrias y encuentran que la inversión en I+D es relevante para incrementar las tasas de innovación. Asimismo, el comercio internacional mejora la velocidad de transferencia de tecnología y el capital humano afecta principalmente a la producción a través de las tasas de rendimientos privadas.

Asimismo, Choi y Hoon (2017) estudian el efecto de internet en la relación entre el gasto en I+D y el crecimiento económico. Los autores utilizan datos de 105 países, durante el periodo 1994-2014, mediante el uso de datos panel y encuentran que el efecto del gasto en I+D en el crecimiento económico se ve afectado positivamente por internet y, además, el efecto de internet en el crecimiento económico se ve reforzado positivamente por un aumento en el gasto en I+D. Por otro lado, Thompson (2018) estudia la relación de innovación y crecimiento económico utilizando bases en un modelo neoclásico y encuentra que el crecimiento económico aumenta con la proporción de trabajadores de producción ligada a innovación.

Más recientemente, Đuro et al. (2020) examinan el impacto de la I+D en la República de Serbia, Dinçer et al. (2019) evalúan el papel de la I+D y las inversiones en tecnología en el desarrollo económico de los países del E7, y Nekrep et al. (2018) analizan el impacto de la inversión en I+D en la

productividad y crecimiento económico en la Unión Europea. No obstante, falta una investigación que incluya el número de investigadores en conjunción con la I+D para evaluar su efecto en el crecimiento económico.

En esta investigación se examinan las relaciones de la inversión en I+D, el número de investigadores y el crecimiento del PIB per cápita, en 25 economías pertenecientes a la Organización para la Cooperación y el Desarrollo Económico (OCDE), durante el período 1996-2016. Para ello se realiza un análisis de causalidad de Granger (1969) y se estiman modelos de datos panel dinámico MGM-sistema para indagar sobre las relaciones que guardan entre sí dichas variables. Los países de la muestra son: Austria, Bélgica, Canadá, República Checa, Alemania, Dinamarca, España, Finlandia, Francia, Hungría, Reino Unido, Irlanda, Islandia, Italia, Japón, Corea, México, Países Bajos, Noruega, Polonia, Portugal, República Eslovaca, Suecia, Turquía y Estados Unidos.

La hipótesis de este estudio es que existe un impacto positivo en el aumento de la inversión en I+D y el incremento en el número de investigadores en el crecimiento económico en los 25 países durante el periodo 1996-2016.

La presente investigación se distingue con respecto al estado actual del tema en lo siguiente: 1) se concentra en 25 economías de la OCDE, 2) cuenta con una mayor disponibilidad de datos con respecto al pasado, 3) realiza un análisis de causalidad de Granger, 4) estima modelos de datos panel dinámico MGM-sistema que permiten utilizar una mayor cantidad de países, de variables y de períodos y 5) corrige problemas de multicolinealidad y de autocorrelación.

El resto del documento se organiza como sigue. La sección 2 se ocupa de una revisión breve de la literatura sobre el tema en cuestión. La sección 3 presenta las estadísticas descriptivas de las variables relevantes. En la sección 4 se especifica el modelo datos panel dinámico MGM-sistema. La sección 5 muestra el análisis y la discusión de los resultados empíricos de causalidad de Granger y estimaciones de modelos de datos panel. Por último, en la sección 6, se presentan las conclusiones.

## **2. Recursos para investigación y crecimiento económico**

La relación entre los recursos humanos y financieros para investigación y el crecimiento económico se analiza en diversas investigaciones: Groosman y Helpman (1991), Aghion y Howitt (1992), Coe y Helpman (1995), Rajeev et al. (2008) y otros. En particular, Aghion y Howitt (1992) estudian, en el marco de la teoría de crecimiento endógeno, el impacto de la innovación en la actividad económica. Estos autores muestran que las empresas innovadoras y la cantidad de trabajo dedicado a la innovación tienden a incrementar el progreso tecnológico y, con ello, la productividad de la economía. Asimismo, Coe y Helpman (1995) estudian el crecimiento económico relacionado con los esfuerzos en innovación como motor del progreso tecnológico y encuentran que la productividad total de los factores de un país depende no sólo del capital nacional en I+D, sino también del capital extranjero en I+D. Sus estimaciones indican que la I+D extranjera tiene efectos positivos en la productividad nacional y que éstos son más fuertes a medida que la economía esté más abierta al comercio internacional.

Así mismo, Teubal (1996) estudia la dinámica de las actividades de I+D en los países asiáticos de reciente industrialización, distingue dos fases del desarrollo tecnológico, la infantil y la madura. La infantil es un proceso de aprendizaje extenso, colectivo, multidisciplinario, acumulativo a través del tiempo. La fase madura establece la endogenización del desarrollo tecnológico y la rutinización de la inversión en I+D en la economía, en donde posteriormente se reduce drásticamente el apoyo del gobierno a las formas tradicionales de I+D. Por otro lado, Deeds (2001) estudia 80 empresas farmacéuticas de biotecnología, para explorar la relación entre la intensidad en I+D y la cantidad de riqueza creada por el sector de alta tecnología; sus resultados sugieren que hay una sólida relación positiva entre la intensidad de I+D de una empresa de alta tecnología con la cantidad de riqueza generada por dicha empresa.

Con estas mismas ideas, Shefer y Frenkel (2005) estudian 209 empresas industriales en la parte norte de Israel para analizar los determinantes del gasto en I+D y encuentran que la inversión en I+D está relacionada con las características de las empresas, principalmente su tamaño, tipo de rama industrial, tipo de propiedad y ubicación. Por otro lado, Rajeev et al. (2008) examinan la relación entre el gasto en I+D y el crecimiento económico en Estados Unidos, en el período 1953-2000. En una primera fase crecen de forma importante los desembolsos no federales para I+D. En una segunda etapa se hace presente una reducción en la participación del gasto en I+D financiado con fondos federales y, finalmente, se observa una disminución drástica en la participación del gasto en I+D en defensa. Los autores también estudian el gasto de forma desagregada en fondos federales y no federales y encuentran con sus estimaciones que el gasto en I+D de fondos federales es mucho más relevante para el crecimiento económico en EE.UU., en relación al gasto en I+D no federal. Posteriormente, Pessoa (2010) estudia la relación entre los desembolsos en I+D y el crecimiento económico en el contexto de la OCDE y duda de la efectividad de las políticas de innovación que intentan mejorar la productividad agregada en función de una creciente intensidad en I+D.

Posteriormente, Acemoglu et al. (2018) utilizan micro datos del censo de EE.UU. para examinar la relación entre el gasto de I+D y la expansión de las empresas. Para ello, utilizan información sobre nivel de producción de la empresa, I+D y patentes y construyen un modelo de innovación y crecimiento de la productividad utilizando diferentes tipos de empresas que difieren en intensidad innovadora (alta y baja). Sus resultados sugieren que las subvenciones a I+D fomentan la supervivencia y expansión de las empresas de baja intensidad innovadora ya que se crea un efecto perverso y contrario al no alentar la salida de empresas menos productivas y liberar la mano de obra calificada para ser utilizada en I+D por empresas de alto nivel o intensas en innovación.

Recientemente, Durmus y Korhan (2019) estudian el impacto de los clústeres, la inversión extranjera directa, la inversión en I+D y el crecimiento económico, para 8 países en vías de desarrollo, dentro y fuera de uniones económicas, con niveles de innovación similares, en el periodo 2001-2014. Para ello, utilizan un modelo de datos panel y encuentran que las uniones económicas son efectivas para los países en desarrollo en materia de comercio, pero no directamente en la innovación. Los autores sugieren que los países en desarrollo deben aumentar el efecto indirecto del comercio para la innovación y el efecto moderador de pertenecer a uniones económicas. En síntesis, no hay consenso sobre el impacto de los recursos humanos y financieros para la investigación en el crecimiento económico. Algunos autores señalan que los recursos (humanos y financieros) para investigación no tiene efectos relevantes sobre el crecimiento económico, mientras que la mayoría de los trabajos señalan que los recursos humanos y financieros para la investigación contribuyen de manera importante al crecimiento económico.

### **3. Estadísticas descriptivas de las variables bajo estudio**

Los datos que se utilizan en la presente investigación son obtenidos del Banco Mundial (World Development Indicators, 2019). El PIB per cápita, el valor de la inversión en I+D, el número de investigadores por cada millón de habitantes. El PIB per cápita es medido en dólares (USD) de la Paridad del Poder Adquisitivo del 2011. Todas las variables corresponden al período 1996-2016. En esta investigación se dispone de datos de panel balanceado. Se tienen el mismo número de observaciones para todas las variables para todos los países. El periodo se encuentra restringido a la disponibilidad de datos y el panel incluye 25 economías que son miembros de la OCDE. Los países de la muestra son: Austria, Bélgica, Canadá, República Checa, Alemania, Dinamarca, España, Finlandia, Francia, Hungría, Reino Unido, Irlanda, Islandia, Italia, Japón, Corea, México, Países Bajos, Noruega, Polonia, Portugal, República Eslovaca, Suecia, Turquía y Estados Unidos. La Tabla 2 muestra las variables que serán utilizadas en esta investigación y cómo se denotarán, así como sus promedios, desviaciones estándar y niveles máximos y mínimos. Para la muestra de economías de este estudio, el PIB per cápita promedio asciende a 34511.2 USD, la desviación estándar es 11190.03, el PIB per cápita mínimo es 11975.63 USD y corresponde a Polonia, el PIB per cápita más alto es de 65083.26 USD y

corresponde a Noruega. El esfuerzo en I+D se mide como (I+D)/PIB y el esfuerzo promedio de la muestra es 1.82, con una desviación estándar de 0.91, con un mínimo de 0.25 que corresponde a México y un máximo de 4.29 que corresponde a Corea. El número de investigadores promedio de la muestra es 3458 investigadores por cada millón de habitantes, la desviación estándar es de 1849, el menor número de investigadores corresponde a México con 207 investigadores por un millón de habitantes y el mayor promedio corresponde a Islandia con 8006 investigadores por cada millón de habitantes.

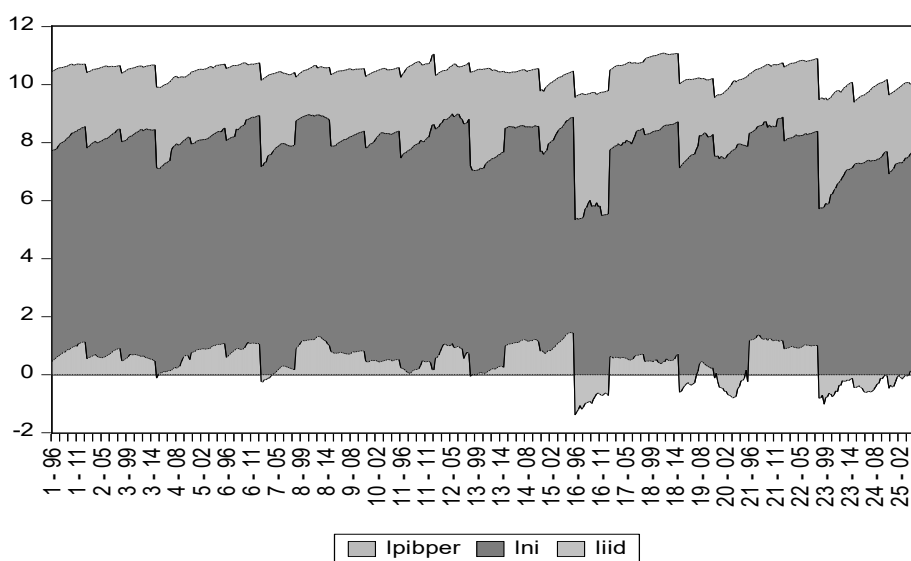
**Cuadro 1. Estadísticas descriptivas de las variables de estudio.**

Variable	Notación	Promedio	Desviación	Mínimo	Máximo
Producto Interno Bruto per cápita	pibper	34511.2	11190.03	11975.63	65083.26
Inversión en I+D como proporción de PIB	iid	1.824929	0.9152373	0.25067	4.28874
Número de investigadores	ni	3458.025	1849.139	207.9061	8006.459

Fuente: Elaboración propia con datos de Banco Mundial disponibles 2019.

La mayor parte de las investigaciones que estudian el vínculo entre los recursos para la investigación y el crecimiento económico predicen que existe una relación positiva entre ellos. A continuación, se muestran los resultados de un análisis gráfico que relaciona la variable dependiente PIB per cápita con la inversión en I+D y el número de investigadores por cada millón de habitantes. El Gráfico 1 muestra que la tendencia generalizada de los incrementos en número de investigadores coincide con los aumentos en el ingreso per cápita. Igualmente, decrementos en el número de investigadores coinciden con disminuciones en el ingreso per cápita. Por otro lado, incrementos en la inversión en I+D, generalmente, coinciden con aumentos en el ingreso per cápita, y las disminuciones en la inversión en I+D, generalmente, coinciden con disminuciones en el ingreso per cápita. En síntesis, el Gráfico 1 respalda la idea de que la expansión del número de investigadores y los aumentos en la I+D y desarrollo están asociados de forma positiva con el crecimiento económico.

**Gráfico 1. Relación entre inversión en I+D, número de investigadores y PIB per cápita.**



Fuente: Elaboración propia con datos de Banco Mundial (2019).

#### 4. Especificación econométrica del modelo de datos de panel

El uso de datos panel es cada vez más frecuente, ya que es muy útil para la investigación aplicada en muestras de varias economías. Los datos panel representan una muestra de características que tienen los países a lo largo del tiempo, es decir, es una combinación simultánea de datos de series de tiempo y de corte transversal. El modelo general que se pretende estimar es el siguiente:

$$y_{it} = \alpha y_{it-1} + \beta X_{it} + u_{it} \quad [1]$$

donde  $y_{it}$  es la variable dependiente que cambia en función de  $i$  (el número de países) y  $t$  (el número de años),  $y_{it-1}$  es la variable dependiente rezagada,  $X_{it}$  son variables exógenas y  $u_{it}$  perturbaciones aleatorias. Las estimaciones por Mínimos Cuadrados Ordinarios (MCO) podrían estar sesgadas y para evitar eso se proponen modelos alternativos a la regresión agrupada mediante modelos de efectos fijos (EF) y modelo de efectos aleatorios (EA) que se comentarán más adelante. El uso de datos de panel presenta varias ventajas porque examina un mayor número de observaciones con más y mejor información, admite un mayor número de variables y genera menos multicolinealidad entre datos de las variables explicativas, y es más eficiente en la estimación. Otra ventaja es que se dispone de más datos y se puede hacer un seguimiento de cada país (unidad de observación). También subsana el problema de variables omitidas, ya que se pueden eliminar por diferencias de las variables que no cambian en el tiempo (véase Baltagi (2005) para un análisis más completo).

Por supuesto, los modelos de datos panel también presentan limitaciones ya que los datos son más complejos; no se tratan la heterogeneidad o las individualidades. Si todas las cualidades del país no son observables, entonces los errores estarán correlacionados con las observaciones y los estimadores MCO serán inconsistentes. El modelo de efectos fijos implica menos supuestos sobre el comportamiento de los residuos. En este caso se supone que el modelo a estimar es:

$$y_{it} = \alpha y_{it-1} + \beta X_{it} + \varepsilon_{it} \quad [2]$$

Si se supone que  $\varepsilon_{it} = v_i + u_{it}$ , entonces:

$$y_{it} = \alpha y_{it-1} + \beta X_{it} + v_i + u_{it} \quad [3]$$

En este último caso, el error  $\varepsilon_{it}$  puede descomponerse en dos partes, una parte fija, constante para cada país  $v_i$  y otra aleatoria  $u_{it}$  que cumple los requisitos MCO ( $\varepsilon_{it} = v_i + u_{it}$ ), lo que es equivalente a realizar una regresión general y dar a cada individuo un punto de origen (ordenadas) distinto. El modelo de efectos aleatorios (EA) tiene la misma especificación que el de efectos fijos con la excepción de que el término  $v_i$ , en lugar de ser un valor fijo para cada país y constante a lo largo del tiempo es una variable aleatoria con un valor medio  $E[v_i]$  y una varianza  $\text{Var}(v_i) \neq 0$ . De esta forma, la especificación del modelo es:

$$y_{it} = \alpha y_{it-1} + \beta X_{it} + v_i + u_{it} \quad [4]$$

donde ahora  $v_i$  es una variable aleatoria. El modelo de EA es más eficiente (la varianza de la estimación es menor, es decir, es más eficiente), pero menos consistente que el de efectos fijos. Para la estimación de datos de panel dinámico se utiliza el Método Generalizado de Momentos (MGM)-sistema; véase, por ejemplo, Arellano y Bond (1991). El estimador MGM extendido en diferencias desarrollado por Arellano y Bover (1995) se basa en regresiones en diferencias para controlar los efectos no observables. Posteriormente, utilizan observaciones previas de las variables explicativas y retardos de las variables dependientes como instrumentos.

El MGM en diferencias tiene limitaciones como lo muestran Blundell y Bond (1998), particularmente, cuando las variables explicativas son persistentes en el tiempo. Los niveles rezagados de estas variables son instrumentos débiles para la ecuación en diferencias. Por otra parte, este enfoque sesga los parámetros si la variable rezagada (en este caso el instrumento) está muy cerca de ser



persistente. Estos autores proponen introducir nuevos momentos sobre la correlación de la variable rezagada y el término del error. Para ello, se agrega la condición de covarianza entre la variable dependiente rezagada y la diferencia de los errores, así como el cambio en la variable dependiente rezagada y el nivel de error tiene que ser cero. El estimador MGM en sistema utiliza un conjunto de ecuaciones en diferencias que son instrumentalizadas con los retardos de las ecuaciones en niveles. Este estimador también relaciona un conjunto de ecuaciones en niveles instrumentalizadas con los retardos de las ecuaciones en diferencias (Bond, 2002).

En el estimador MGM en sistema se imponen suficientes condiciones de ortogonalidad para asegurar estimadores consistentes de los parámetros aún con problemas de endogeneidad y con efectos individuales-país no observados. Este enfoque es para estimar los parámetros y fue desarrollado por Arellano y Bover (1995) y, posteriormente, varias mejoras fueron realizadas por Blundell y Bond (1998). El estimador así obtenido tiene ventajas sobre otros estimadores como EF y otros, ya que no sesga los parámetros en muestras pequeñas o en presencia de endogeneidad. El estimador MGM óptimo tiene la siguiente forma:

$$\hat{\theta}_{\text{MGM}} = \begin{pmatrix} \hat{\alpha}_{\text{MGM}} \\ \hat{\beta}_{\text{MGM}} \end{pmatrix} = \left[ (y_{-1}^*; x^*)' z^* V_N^{-1} z^{*'} \begin{pmatrix} y_{-1}^* \\ x^* \end{pmatrix} \right]^{-1} \left[ (y_{-1}^*; x^*)' z^* V_N^{-1} z^{*'} y^* \right] \quad [5]$$

La ecuación [5] es un sistema que consiste en una regresión que contiene conjuntamente información en niveles y en diferencias en términos de condiciones de momentos.

## 5. Análisis de resultados empíricos

En esta sección se realizan pruebas de causalidad en el sentido de Granger y se estima un modelo de datos panel.

### 5.1 Causalidad de Granger

El análisis de causalidad de Granger (1969) no es una prueba para medir el nivel de relación causal entre dos o más variables, sino una prueba para detectar la correlación entre los valores actuales de una variable con los valores rezagados de otra variable. La prueba se basa en la hipótesis nula de que no existe causalidad en el sentido de Granger entre dos variables, el criterio de rechazo se basa en el valor del estadístico  $F$  y su nivel de probabilidad. Se rechazan los estadísticos  $p$ -valor asociados a niveles mayores o iguales a 0.05 (Se recomienda revisar a Gujarati y Porter (2009), Wooldrige (2011) y Greene (2012)). A continuación, se presentan las pruebas de causalidad para las variables de este estudio.

En el Cuadro 2 se presentan los resultados de las estimaciones de la prueba de causalidad de Granger entre el logaritmo del PIB per cápita y el logaritmo de la inversión en I+D como proporción del PIB, así como con el logaritmo del número de investigadores por cada millón de habitantes. Las estimaciones indican, en general, que a pesar de existe causalidad en ambas direcciones, predomina el sentido de la inversión en I+D hacia el PIB per cápita en el periodo 1996-2016. La inversión en I+D causa al PIB per cápita en los retardos: 1, 7, 8, 10, 11, 12, 14, 15, 16, 17, 18 y 19. Mientras que el PIB per cápita causa en el sentido de Granger a la inversión en I+D en los retardos: 1, 2, 3, 4. En el análisis de causalidad de Granger, la inversión en I+D causa al PIB per cápita siendo el sentido de la causalidad predominante de la inversión en I+D al PIB per cápita, ya que sólo en los 4 primeros retardos el PIB per cápita causa en el sentido de Granger a la inversión en I+D, mientras que en 12 retardos la inversión en I+D causa al PIB per cápita.

**Cuadro 2. Causalidad de Granger entre inversión en I+D y PIB per cápita.**

Pruebas de causalidad de Granger									
					Retardo 1	Retardo 2			
Hipótesis nula:					Observac.	Estadístico F	Prob.	Prob.	
liid no causa lpibper					500	0.99954	0.3179	0.0338	
lpibper no causa liid						0.71310	0.3988	0.2627	
Ret. 3	Ret. 4	Ret. 5	Ret. 6	Ret. 7	Ret. 8	Ret. 9	Ret. 10		
Prob.	Prob.	Prob.	Prob.	Prob.	Prob.	Prob.	Prob.		
0.0107	0.0006	0.0019	0.0276	0.2220	0.2270	0.0195	0.0773		
0.1928	0.0535	0.0197	0.0076	0.0119	0.0007	0.0002	0.0006		
Ret. 11	Ret. 12	Ret. 13	Ret. 14	Ret. 15	Ret. 16	Ret.17	Ret.18	Ret. 19	
Prob.	Prob.	Prob.	Prob.	Prob.	Prob.	Prob.	Prob.	Prob.	
0.1191	0.0540	0.0276	0.3717	0.1860	0.4192	0.2945	0.2195	0.2644	
0.0005	0.0005	0.0009	0.0004	0.0001	0.0008	0.0006	0.0004	0.0434	

lpibper: log PIB per capita, liid: log de inversión en I+D.  
Fuente: Elaboración propia con datos de Banco Mundial (2019).

El Cuadro 3 presenta los resultados de las estimaciones de causalidad de Granger entre el número de investigadores y PIB per cápita. Se observa, en general, que existe causalidad bidireccional, aunque predominantemente el sentido es del PIB per cápita hacia el número de investigadores en el periodo 1996-2016. El número de investigadores causa al PIB per cápita en los retardos: 11, 12, 14, 15, 16, 17, 18 y 19. Mientras que el PIB per cápita causa al número de investigadores en los retardos: 1, 2, 3, 4, 5, 6, 7, 8, 9, 10, 11, 12, 13, 14, 15, 16, 18 y 19.

En síntesis, el análisis de causalidad de Granger revela que existe una causalidad bidireccional entre la inversión en I+D con el PIB per cápita y también existe causalidad bidireccional entre el número de investigadores con el PIB per cápita. En el análisis de causalidad de Granger se detecta que la inversión en I+D causa fuertemente al PIB per cápita, mientras que el PIB per cápita causa de forma vigorosa al número de investigadores. El análisis de causalidad de Granger muestra que tanto la inversión en I+D, como el número de investigadores causan al PIB per cápita en las economías estudiadas.

## 5.2 Modelos de Datos de Panel

El objetivo de esta sección consiste en desarrollar un modelo de datos de panel que permita analizar el impacto de la inversión en I+D y el número de investigadores en el crecimiento del PIB de la muestra de 25 economías. Se analiza una muestra de 25 economías miembros de la OCDE, con el propósito de examinar empíricamente la relación entre los recursos para investigación con el crecimiento económico. Las variables de análisis son expresadas en logaritmos: (lpibper) es logaritmo del PIB per cápita, (liid) es logaritmo de la inversión en I+D, (lni) es el logaritmo del número de investigadores y el periodo analizado es 1996-2016, lo que permite contar con 25 grupos y 21 años. Con el paquete *Stata* se estima un panel balanceado. Los principales resultados se expresan en las siguientes tablas. La Tabla 4 muestra los resultados de las estimaciones de datos de panel dinámico, la primera columna señala que la variable dependiente es el logaritmo del PIB real per cápita, las variables explicativas son: el retardo del logaritmo del PIB per cápita, logaritmo de la inversión en I+D, el logaritmo del número de investigadores y la constante. Se presenta el modelo de mejor ajuste, las pruebas de autocorrelación serial de primero y segundo orden, la prueba de Sargan (se instrumentalizó con dos retardos como máximo), el número de países y el número de observaciones. Es importante destacar que las estimaciones mediante modelos dinámicos permiten mitigar los problemas de autocorrelación.

**Cuadro 4. Estimaciones de modelos de datos de panel con MGM.**

Variable dependiente: lpibper	MGM Sistema (una etapa)
LpibperL1	0.8692134 (0.000)
Liid	0.0068932 (0.000)
Lni	0.0399766 (0.000)
Constante	1.054600 (0.000)
AR (1)	Prob>Z=0.000
AR (2)	Prob>Z=0.053
Prueba de Sargan	Prob>Chi2=0.0875
Número de países	25
Número de observaciones	500

Entre paréntesis los *p*-valores.

MGM: Método Generalizado de Momentos.

Fuente: Elaboración propia con datos de Banco Mundial (2019), Stata.

La segunda columna del cuadro anterior muestra los resultados de la estimación por MGM en sistema en una etapa, los coeficientes del PIB per cápita rezagado, la inversión en I+D, el número de investigadores y la constante. Todos ellos presentan los signos adecuados y son estadísticamente significativos. La prueba Sargan rechaza la hipótesis nula de sobreidentificación, por lo tanto, se admite la validez general de los instrumentos y la especificación del modelo.

Las estimaciones indican que el modelo de mejor ajuste, el cual es elegido, es el estimado con MGM sistema en una etapa, indicando que el PIB per cápita está relacionado positivamente con el PIB rezagado (lpib.L1), y también está relacionado positivamente con la inversión en I+D y con el número de investigadores. Este modelo indica que un incremento del 1% en la inversión en I+D tendrá un impacto del 0.0068932% en el PIB per cápita, mientras un incremento del 1% del número de investigadores provoca un aumento del 0.0399766% en el PIB per cápita para las 25 economías de la OCDE en el periodo de 1996-2016. Otro hallazgo importante es que el número de investigadores tiene mayor impacto en el crecimiento económico en comparación con la inversión I+D.

En resumen, la evidencia empírica muestra que la inversión en I+D y el número de investigadores tienen un impacto positivo en el crecimiento económico. Así pues, la estimación de MGM sistema en una etapa es el modelo que mejor explica la relación entre la inversión en I+D y el número de investigadores y el crecimiento económico.

## 6. Conclusiones

La evidencia empírica presentada en esta investigación, primero mediante un análisis de causalidad de Granger, revela que existe una causalidad bidireccional entre la I+D y el PIB per cápita, pero predominantemente I+D causa en el sentido de Granger al PIB per cápita. También se encuentra una causalidad bidireccional entre el número de investigadores y el PIB per cápita, pero predominantemente el PIB causa en el sentido de Granger al número de investigadores en las 25 economías de la OCDE.

Posteriormente, las estimaciones de datos de panel mostraron un impacto positivo la inversión en I+D y el número de investigadores en el crecimiento económico. En consecuencia, la evidencia empírica presentada aquí, sustenta la hipótesis planteada en este trabajo. Derivado de la presente investigación se recomienda a los tomadores de decisiones de política económica buscar los instrumentos e incentivos adecuados que fomentan una mayor inversión en I+D e incrementar el número de investigadores para impulsar el crecimiento económico.

## Referencias

- Acemoglu, D., Akeigit, U., Alp, H., Bloom, N., & Kerr, W. (2018). Innovation reallocation and growth. *American Economic Review*, *108*(11), 3450-91. <https://doi.org/10.1257/aer.20130470>
- Aghion, P., & Howitt, P. (1992). A model of growth through creative destruction. *Econometrica*, *60*(2), 323-351. <https://doi.org/10.2307/2951599>
- Arellano, M., & Bond, S. (1991). Some Tests of Specification for Panel Data: Monte Carlo Evidence and Application to Employment Equations. *The Review of Economic Studies*, *58*(2), 277-297. <https://doi.org/10.2307/2297968>
- Arellano M., & Bover, O. (1995). Another Look at the Instrumental Variable Estimation of Error-components Models. *Journal of Econometrics*, *68*(1), 29-51. [https://doi.org/10.1016/0304-4076\(94\)01642-D](https://doi.org/10.1016/0304-4076(94)01642-D)
- Arnold, L. (1998). Growth, welfare and trade in an integrated model of human-capital acumulation and research. *Journal of Macroeconomics*, *20*(1), 81-105. [https://doi.org/10.1016/S0164-0704\(98\)00048-2](https://doi.org/10.1016/S0164-0704(98)00048-2)
- Baltagi, B.H. (2005), *Econometric Analysis of Panel Data*. (3Ed.). New York: John Wiley & Sons. <https://www.wiley.com/en-us/Econometric+Analysis+of+Panel+Data%2C+5th+Edition-p-9781118672327>
- Blundell, R., & Bond, S. (1998). Initial Conditions and Moment Restrictions in Dynamic Panel Data Models. *Journal of Econometrics*, *87*(1), 115-143. [https://doi.org/10.1016/S0304-4076\(98\)00009-8](https://doi.org/10.1016/S0304-4076(98)00009-8)
- Bond, S.R. (2002). Dynamic panel data models: A guide to micro data methods and practice. *Portuguese Economic Journal*, *1*(2), 141-162. <https://doi.org/10.1007/s10258-002-0009-9>
- Cameron, G., Proudman, J., & Redding, S. (2005). Technolgical convergence, R&D, trade and productivity growth. *European Economic Review*, *49*(3), 775-807. [https://doi.org/10.1016/S0014-2921\(03\)00070-9](https://doi.org/10.1016/S0014-2921(03)00070-9)
- Choi, C., & Hoon, M. (2017). The internet, R&D expenditure and economic growth. *Journal Applied Economics Letters*, *25*(4), 264-267. <https://doi.org/10.1080/13504851.2017.1316819>
- Coe, D., & Helpman, E. (1995). International R&D spillovers. *European Economic Review*, *39*(5), 859-887. [https://doi.org/10.1016/0014-2921\(94\)00100-E](https://doi.org/10.1016/0014-2921(94)00100-E)
- Deeds, D. (2001). The role of R&D intensity, technical development and absorptive capacity in creating entrepreneurial wealth in high technology start-ups. *Journal of Engineering and Technology Management*, *18*(1), 29-47. <https://doi.org/10.1007/s11187-009-9183-9>

- Dinçer, H., Yüksel, S., Adalı, Z., & Rıdvan Aydın, R. (2019). Evaluating the Role of Research and Development and Technology Investments on Economic Development of E7 Countries. In Alicia Guerra (ed.). *Organizational Transformation and Managing Innovation in the Fourth Industrial Revolution*, 245-264.
- Doukas, J., & Switzer, L. (1992). The stock Market's valuation of R&D spending and market concentration. *Journal of Economics and Business*, 44(2), 95-114. <https://doi.org/10.1016/j.irfa.2004.10.007>
- Durmus, Y., & Korhan, A. (2019). Effects of economic clusters, FDI and R&D on innovation developing countries in European Monetary Union example. *International Journal of Innovation*, 7(2), 236-251. <https://doi.org/10.5585/iji>
- Duro, K., Sunčica, S., Svetlana, L., & Sanja, P. (2020), *Industrija. Uticaj ulaganja u istraživanje i razvoj na ekonomski rast u Republici Srbiji*, 48(1), 23-46.
- Granger, C. (1969). Investigating causal relations by econometric models and cross-spectral methods. *Econometrica*, 37(3), 424-438. <https://doi.org/10.2307/1912791>
- Greene, W. (2012). *Econometric Analysis* (7<sup>a</sup> Ed.). New York: Pearson Education. [https://www.academia.edu/37844952/Greene\\_2012\\_Econometric\\_Analysis\\_7th\\_Edition](https://www.academia.edu/37844952/Greene_2012_Econometric_Analysis_7th_Edition)
- Grossman, G., & Helpman, E. (1991), *Innovation and Growth in the Global Economy*. Cambridge: MIT Press. <https://mitpress.mit.edu/books/innovation-and-growth-global-economy>
- Guangzhou, A. (2001). Ownership, government R&D, and productivity in Chinese industry. *Journal of Comparative Economics*, 29(1), 136-157. <https://doi.org/10.1006/jcec.2000.1704>
- Gujarati, D.N., & Porter, D.C. (2009). *Econometria* (5<sup>a</sup> Ed.). México: McGraw-Hill. [https://www.academia.edu/15152239/Econometria\\_-\\_Damodar\\_N.\\_Gujarati](https://www.academia.edu/15152239/Econometria_-_Damodar_N._Gujarati)
- Jones, C. (1995). R&D-based models economic growth. *Journal of Political Economy*, 103(4), 759-784. <http://dx.doi.org/10.1561/08000000026>
- Lucas, R. (1988). On the mechanics of economic development. *Journal of Monetary Economics*, 22(1), 3-42. [https://doi.org/10.1016/0304-3932\(88\)90168-7](https://doi.org/10.1016/0304-3932(88)90168-7)
- Nekrep, A., Strašek, S., & Boršič, D. (2018). Productivity and Economic Growth in the European Union: Impact of Investment in Research and Development, *Naše gospodarstvo/Our economy*, 64(1), 18-27.
- Pessoa, A. (2010). R&D and economic growth: How strong is the link? *Economics Letters*, 107(2), 152-154. <https://doi.org/10.1016/j.econlet.2010.01.010>
- Rajeev, K., Payne, J., & Rati, R. (2008). R&D expenditures and U.S. economic growth: a disaggregated approach. *Journal of Policy Modeling*, 30(2), 237-250. <https://doi.org/10.1016/j.jpolmod.2007.04.008>
- Rebelo, S. (1991). Long-Run Policy Analysis and Long-Run Growth. *Journal of Political Economy*, 99(3), 500-521.
- Romer, P. (1986). Increasing returns and long-run growth. *Journal of Political Economy*, 94(5), 1002-1037. <https://doi.org/10.1086/261420>

- Shefer, D., & Frenkel, A. (2005). R&D firm size and innovation: an empirical analysis. *Technovation*, 25(1), 25-32. [https://doi.org/10.1016/S0166-4972\(03\)00152-4](https://doi.org/10.1016/S0166-4972(03)00152-4)
- 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. *Quarterly Journal of Economics Review*, 70(1), 65-94. <https://doi.org/10.2307/1884513>
- Teubal, M. (1996). R&D and technology policy in NICs as learning processes. *World Development*, 24(3), 449-460. [https://doi.org/10.1016/0305-750X\(95\)00156-7](https://doi.org/10.1016/0305-750X(95)00156-7)
- Thompson, M. (2018). Social capital, innovation and economic growth. *Journal of Behavioral and Experimental Economics*, 73, 46-52. <https://doi.org/10.1016/j.socec.2018.01.005>
- Wakelin, K. (2001). Productivity growth and R&D expenditure in UK manufacturing firms. *Research Policy*, 30(7), 1079-1090. [https://doi.org/10.1016/S0048-7333\(00\)00136-0](https://doi.org/10.1016/S0048-7333(00)00136-0)
- Wooldridge, J. (2011). *Introducción a la econometría. Un enfoque moderno* (4<sup>th</sup>. Ed.). México: Cengage Learning.  
[https://www.academia.edu/30200962/Introducci%C3%B3n\\_A\\_La\\_Econometr%C3%ADa\\_-\\_4edi\\_Wooldridge](https://www.academia.edu/30200962/Introducci%C3%B3n_A_La_Econometr%C3%ADa_-_4edi_Wooldridge)
- World Development Indicators (2019). The World Bank, Washington, DC.  
<https://databank.worldbank.org/source/world-development-indicators>