

UN ANÁLISIS MÉTRICO DE LA INVERSIÓN EN INNOVACIÓN Y SU EFECTO EN EL CRECIMIENTO Y EL DESARROLLO ECONÓMICO EN MÉXICO^{1,2}

A Metrical Analysis of the Effect of Innovation Investment on
Growth and Development in Mexico

Recibido: 24 de abril de 2023
Aceptado: 26 de mayo de 2023

1 - Autor: Irma Victoria Ramírez Lozano. Grado académico: Maestra en Economía . Adscripción: Universidad Autónoma de Ciudad Juárez. Correo electrónico: irmavictoriar44@gmail.com.  ORCID: <https://orcid.org/0000-0001-6815-2949>

2 - Co-Autor 1: David Vázquez Guzmán. Grado académico: Doctor en Economía. Adscripción: Universidad Autónoma de Ciudad Juárez. Correo electrónico: david.vazquez@uacj.mx.  ORCID: <https://orcid.org/0000-0001-8254-9766>



Esta obra está bajo una licencia de Creative Commons Reconocimiento-NoComercial 4.0 Internacional.
<https://creativecommons.org/licenses/by-nc-sa/4.0/>

RESUMEN

La presente investigación tiene como objetivo analizar los efectos que tiene la inversión privada y pública de la innovación, investigación y desarrollo (I+D) en el crecimiento económico de México durante el periodo 1980 al 2019, ya que las teorías de crecimiento económico neoclásico y endógeno señalan que dichas inversiones mejoran los mecanismos de producción y de aprovechamiento de los recursos naturales y tecnológicos de un país. Por medio del método de Mínimos Cuadrados Ordinarios (MCO) de series de tiempo datos del ANUIES, INEGI y CONACyT se estimó un modelo econométrico que mide este impacto. Se encontró que bajo este análisis varios factores afectan positivamente el crecimiento económico, como lo es el incremento en patentes concedidas en México por una persona con nacionalidad extranjera, el gasto público en investigación y desarrollo, las becas otorgadas por CONACyT para posgrado y los artículos publicados por científicos mexicanos.

Palabras clave: Innovación; Investigación y Desarrollo (I+D); Crecimiento económico; México.

ABSTRACT

This research has as an objective to analyze the effect of investment on private and public innovation, research and development (R&D) on economic growth in the case of Mexico from year 1980 through 2019. This because both neoclassical and endogenous economic growth theory point out that investment on R&D enhance productivity and produces a better understanding of the country's technological and natural resources. Using the OLS (Ordinary Least Squares) causal method with time series data coming from sources like ANUIES, INEGI and CONACyT, we estimate an econometric model that measures this impact. We found, under this analysis, that several factors positively affect economic growth, such as the number of patents by foreigners in the country, the amount of public spending, the number of graduate scholarships by the federal institute CONACyT, and the number of publications by Mexican scientists.

Keywords: Innovation; Research and Development (R&D); Economic growth; Mexico.

Clasificación JEL: F43, O31, O32.

Introducción

La realización de esta investigación, con base en un documento previo (Ramírez, 2014), parte del interés de analizar las contribuciones que tienen las inversiones de los sectores público y privado, donde participan instituciones del gobierno, educativas, privado no lucrativas y empresariales, y como estas impactan en la formación de innovación, investigación y desarrollo experimental (I+D), en el crecimiento económico y el desarrollo. En primer lugar, se parte de la idea de que el crecimiento económico necesita de un trabajo previo dentro de los países para que se puedan alcanzar niveles óptimos, como son inversiones en recursos humanos y tecnológicos, ya que estos pueden ayudar a generar resultados óptimos en la producción, debido a que estas inversiones ayudan a las mejoras de procesos productivos empresariales y de gestión territorial, y además inciden en los aumentos de producción de bienes y servicios (Todaro y Smith, 2020).

Por ejemplo, la inversión en capacitación humana en el uso de las tecnologías puede ayudar a las empresas a mejorar sus procesos de producción, ya sea que una persona a través de sus conocimientos pueda usarlo en manejo óptimo de herramientas industriales o utilizar paquetes de computacionales. Sin bien es cierto, las inversiones en la formación de innovación, investigación y desarrollo (I+D) pueden tener un alcance benéfico en el crecimiento económico, y, por ende, en el desarrollo de un país, este también se puede ver reflejado en el desarrollo económico, no solo a través del crecimiento económico, sino en las mejoras en los niveles de vida y de bienestar social de la comunidad (Sen, 1999).

Por ejemplo, Todaro y Smith (2020, p. 113) apuntan que la investigación en la ciencia básica, y el desarrollo tecnológico juegan un papel crucial en el moderno crecimiento económico de los países en vías de desarrollo. Es decir, las personas también pueden salir beneficiadas, por ejemplo, a través de las mejoras en los procesos de adquisición de agua potable o tecnologías para detectar enfermedades, o incluso en investigaciones que ayuden a la inclusión de un grupo vulnerable, entre otras espirales positivas en el desarrollo que vienen de un crecimiento adecuado y sostenido.

En el desarrollo local, de acuerdo con Albuquerque-Llorens (2008, p. 693), la innovación, la investigación y el desarrollo empresarial pueden contribuir a un desarrollo sostenible del país: “Todo lo cual requiere un diseño de política de innovación y desarrollo productivo complementarias, con capacidad para enfrentar los desequilibrios y la inequidad social”. Por el contrario, si se presenta en los procesos productivos una problemática sustantiva que se pudo haber corregido a través de la investigación, esto podría impactar de una manera negativa en el crecimiento del país.

En general, se busca que a través de la combinación de factores de producción, como lo es la tierra, el trabajo, el capital, y para nuestro caso, la actividad emprendedora o innovación, se haga de manera eficiente (Sloman y Wride, 2009), y entonces este fenómeno, dentro de nuestro análisis del factor de innovación, se presentaría porque los sectores productivos no tienen capacidad de adaptación en sus procesos productivos, no pueden desenvolverse en el mercado, no tienen información completa, y no ha incorporado centros de investigación y desarrollo que resuelvan estos problemas, lo que indica que se podría dificultar la producción en el país en lo agregado, lo cual reduciría el crecimiento económico. Lo cual también es necesario para que exista un crecimiento sustantivo, tomando como base el progreso tecnológico y la inversión en los negocios (Mankiw, 2000, p. 5).

Algunos investigadores han destacado la importancia que tiene la inversión en I+D y la innovación, junto con otras variables, sobre el crecimiento económico de un país o una región. Lo que hacen los investigadores que a continuación mencionamos, es generar evidencia empírica que demuestre esto, y a partir de modelos econométricos sustentados en teorías de crecimiento económico se ha podido medir la relación de manera cuantitativa, como es el trabajo de Guisán y Aguayo (2005), por medio de varios análisis econométricos con Mínimos Cuadrados Ordinarios (MCO), se encontró que hubo impactos positivos de la investigación tecnológica sobre la producción industrial y de la investigación no tecnológica sobre la producción y el empleo en los sectores de servicios en el año 2000 en las regiones de España y Europa, tomando variables como el gasto en Investigación y Desarrollo (I+D) y el capital humano.

De manera similar, Akinwale *et al.* (2012) analizan la contribución de la investigación y el desarrollo (I+D) y la innovación, el trabajo y el capital en el crecimiento económico en Nigeria con el método de Mínimos Cuadrados Ordinarios, encontrando que la innovación y la inversión en investigación y desarrollo (I+D) tienen un impacto positivo en la mano de obra y el capital, lo que incide aún más en la economía de Nigeria.

En otro trabajo, un poco más descriptivo, Kraft y Kraftava (2012) relacionan con datos y gráficas la relación entre inversión privada y el crecimiento económico. Ellos encuentran que la habilidad de creación, uso de ciencia, inversión en investigación e innovación tiene una relación positiva con crecimiento económico en un contexto de globalización, y toman como ejemplo países como Japón y Suiza. También observan que el avance del sector privado, específicamente la industria de alta tecnología orienta a los países a este crecimiento. Por otro lado, Luengo y Obeso (2013) encuentran en un estudio realizado en España, que en el sector privado y público, la innovación empresarial, el apoyo a las universidades y otras instituciones públicas permite que las empresas sean más competitivas y se genere mayor crecimiento económico.

Con lo aquí presentado es evidente que es poca la literatura existente sobre la posible eficacia de la intensidad de I+D, la innovación y el impacto del cambio tecnológico sobre el crecimiento económico, y son pocos los investigadores que se han enfocado en desarrollar un modelo econométrico para analizar las relaciones entre la I+D, la innovación y el crecimiento económico en México de una manera diferenciada entre la inversión del sector público y privado.

Por ejemplo, veo más delante el trabajo de Gutierrez-Casas (2008) para la zona norte en México, y el de Luengo y Obeso (2013) para cierta región en España, y recientemente el trabajo de Beltran-Morales *et al.* (2018), que se enfoca en patentes con un periodo de tiempo más limitado, y últimamente el trabajo de German-Soto *et al.* (2021), con la construcción de un índice ad-hoc, pero enfocado más al desarrollo regional en México.

A diferencia de los trabajos anteriores que estudiaron la relación entre la I+D, la innovación y el crecimiento económico, este estudio pone a prueba explícitamente la dirección de la causalidad entre estas tres variables por medio de un modelo de regresión con datos de series de tiempo, de acuerdo con las inversiones del sector público y privado.

Por este motivo, la pregunta de investigación es conocer: ¿Cuál es el impacto de la inversión del sector público y privado en innovación, investigación y desarrollo (I+D) sobre el crecimiento económico para el caso de México durante el periodo 1980 al 2019? Por lo que se desarrolla un modelo econométrico con series de tiempo para analizar el efecto de la inversión en innovación, investigación y desarrollo (I+D) de

los sectores público y privado en el crecimiento económico. Se plantea que la inversión del sector público y privado en innovación, investigación y desarrollo (I+D) tiene un impacto positivo sobre el crecimiento económico (acumulación del Producto Interno Bruto per cápita).

Además, se enfatiza los objetivos específicos: i) Mostrar la importancia de la inversión en innovación, y el gasto público y privado en investigación y desarrollo (I+D) en el país, ii) Señalar e identificar si existen estímulos por parte del Gobierno y sector privado para generar el potencial innovador, de investigación y desarrollo (I+D) dentro de México, iii) Estimar, con base del método Mínimos Cuadrados Ordinarios con datos de series de tiempo, el impacto de la inversión pública y privada en innovación, investigación y desarrollo en el crecimiento económico para el caso de México en el periodo 1980 al 2019.

Por lo que el presente trabajo está conformado por tres secciones. En la primera sección el marco teórico que incorporaban modelos de crecimiento económico basados en progreso técnico. En la segunda sección se presenta el modelo econométrico implantado en la investigación, así como la especificación de las variables empleadas en el modelo, los datos usados y las estadísticas descriptivas. La tercera sección se presenta los resultados e interpretación de modelo propuesto. Finalmente, se presenta la conclusión donde se incluye sugerencias para mejoras en los análisis.

1. Innovación, Crecimiento Económico, e Investigación y Desarrollo (I+D)

Se propone en la literatura actual que las teorías explican lo relevante de la relación entre factores de crecimiento e innovación, sobre todo de como la innovación y la investigación y el desarrollo (I+D) tienen influencia en el crecimiento económico. El enfoque que se propone de la Investigación y Desarrollo (I+D) en este texto tiene una perspectiva macroeconómica. En la parte desagregada, la microeconómica, la investigación y el desarrollo son parte del quehacer empresarial para generar productos diferenciados dentro de la estructura de la competencia monopolística, donde bajo ciertas condiciones, los consumidores aceptan una demanda con pendiente negativa, y un ingreso marginal con una pendiente mayor que la demanda, lo que provoca una menor producción y un mayor precio, y por ende, un mayor beneficio para el empresario en el corto plazo (Allen *et al.*, 2013, p. 8), pero decidimos mantener el enfoque macroeconómico, donde en el largo plazo, la innovación y el desarrollo tienden a un mayor crecimiento económico (Todaro y Smith, 2020).

Algunas de las teorías son: la teoría neoclásica del crecimiento, la teoría de crecimiento endógeno y la teoría de innovación. En los modelos neoclásicos de crecimiento económico Solow (citado por Guloglu y Tekin, 2012), el progreso tecnológico se atribuye un papel crucial en el mantenimiento de una tasa positiva de crecimiento del producto per cápita en el largo plazo, sobre todo porque se supone que el cambio tecnológico compensa el problema de la disminución de la rentabilidad del capital.

Pero estos modelos no explicaban uno de los determinantes clave del crecimiento económico, lo cual es el progreso tecnológico, ya que solo lo consideraba exógeno al modelo. Aunque este modelo más moderno, que se conoce como endógeno, propone el crecimiento del producto interno bruto como resultado del crecimiento del trabajo y el capital, y además añade una importante variable de lo que ahora conocemos como el progreso tecnológico (Sala, 1994).

Por su parte, Arrow (1951) comentaba que la adquisición de conocimientos por parte de las empresas (el aprendizaje) estaba vinculada a la experiencia acumulada de los empleados. Observándose que la medida del aumento de la experiencia era la inversión, era debido a que la maquinaria puede hacer más productivo el entorno, y el aprendizaje de los empleados que producen con estas máquinas es muy estimulante (Sala, 1994).

Si una empresa decide invertir en adquisición de equipo para crear nuevos productos, se podría tener un costo marginal más bajo, debido a las economías de escala, y por lo tanto una ganancia mayor con el producto nuevo, pero sería posible que se originara una especie de monopolio para el creador del nuevo producto, siempre y cuando se trabajara en obtener los derechos de patente, obteniendo así un poder de mercado (Sloman y Wride, 2009, p. 61).

En este sentido, también apunta Sala (1994), que el objeto de las empresas que invierten en el desarrollo de sus productos es el de tratar generar pequeños mercados monopólicos a través del liderazgo tecnológico. Esto va de la mano con la teoría microeconómica existente cuando se explica el modelo de la competencia monopolística, que requiere de la inversión en el desarrollo de productos diferenciados para obtener una ganancia económica superior.

Adicionalmente, investigadores como Marroquín y Rios (2012) consideran que se debe agregar un tercer factor al estudio del crecimiento, lo que es además de la educación y el entrenamiento en el trabajo como dos factores esenciales, el tercero también muy importante lo que es la investigación en general. De igual forma, Schultz (1971) considera que la educación, la capacitación y la investigación constituyen un conjunto intangible de habilidades y capacidades para elevar y conservar la productividad, la innovación y el propio crecimiento económico.

Por lo tanto, gracias a la innovación, los productos que se elaboran son más competitivos, lo que permite a las empresas ampliar los mercados a los que puedan acudir, y se favorece la división del trabajo, que es una variable clave de la riqueza de las naciones (Galindo *et al.*, 2012). La innovación es entonces una respuesta específica de diferenciación y de naturaleza distinta a localidad y al costo, cuyo resultado es el escape de las presiones de la competencia (Beristain, 2009).

1.1 Teoría neoclásica del crecimiento

A finales de la década de 1950, surgió la teoría neoclásica de crecimiento que se caracteriza por un modelo económico más simplificado, enfocándose en que una economía acumulaba capital y tenía relaciones con el ahorro e inversión, de esta manera aumentaría sus niveles de producción llegando a un equilibrio del estado estacionario. De acuerdo con Solow (1957) los determinantes importantes del Producto Interno Bruto son, en orden de importancia, el progreso técnico, el aumento de la oferta de la mano de obra y la acumulación de capital (Dornbusch *et al.*, 2008).

La clave para comprender el modelo es que cuando el ahorro fuera mayor a la inversión, el capital por trabajador aumentaría al igual que la producción. Por lo contrario, cuando el ahorro fuera menor a la inversión, disminuirían el capital por trabajador y la producción. Lo que implica que el PIB per cápita es constante cuando llega a un estado estacionario. Sin embargo, la economía sigue creciendo cuando la tecnología avanza y el PIB per cápita reaparece en el modelo. En otras palabras, debido a

que el crecimiento del PIB per cápita, capital per cápita y la tecnología son aproximadamente iguales llega a un estado estacionario.

Sin embargo, la teoría neoclásica solo atribuía a que el crecimiento en el largo plazo era debido al progreso tecnológico. Además, de acuerdo con los mismos autores anteriormente citados, surgió una insatisfacción empírica porque no se guardaba relación en el estado estacionario con el crecimiento económico y las tasas de ahorro, porque en ciertos países se tenía una relación positiva entre el crecimiento económico y las tasas de ahorro.

1.2 Teoría del crecimiento endógeno

Las teorías neoclásicas no atribuyen completamente al análisis regional el desarrollo, siendo éstas no explicativas del crecimiento a largo plazo y como que se da un menosprecio a los diversos factores que forman parte de esta dinámica, como lo es la distancia, la localización, o el espacio específico de producción. Fue necesaria la incorporación del capital humano, la endogeneidad del proceso tecnológico y la aparición de externalidades que aporten a los modelos económicos un análisis regional. De acuerdo con Marroquín y Rios (2012, p. 15), "...la teoría del crecimiento económico endógeno centra la atención sobre el cambio tecnológico endógeno para explicar los patrones de crecimiento en las economías".

Por lo que, esta teoría nos dice que al aumentar la inversión en conocimiento se incrementa el Producto Interno Bruto. Es decir, resulta que invertir no sólo generará nuevas máquinas, sino también en nuevas formas de producir con espirales positivas de desarrollo. A pesar de que las empresas tienen beneficios productivos con la nueva maquinaria, es algo más complejo la generación de beneficios, ya que si se adoptan ideas nuevas y mejores métodos para producir se incrementarán los beneficios, pero esto conlleva condiciones internas del lugar como pueden ser las inversiones privadas y públicas.

Agregando a esto, como nos mencionan ellos mismos, esta teoría toma en cuenta el proceso mediante el cual se crean nuevos descubrimientos que generan un aumento de la producción de conocimientos técnico-científicos que se ven reflejados en nuevos productos, o en mejoras de la calidad de los que ya existen. Finalmente, esta teoría se toma en cuenta porque permite comprender como factores como las inversiones en el interior de un país ayudan a mejorar mecanismos de obtención de ingresos nacionales, y por ende crecimiento y desarrollo económico.

1.3 Teoría de la innovación

La teoría innovación ayuda a explicar la función de la innovación en el desempeño económico, ya que esta tiene un papel protagonista dentro de los procesos de producción que se llevan a cabo en los sectores productivos. De acuerdo Yoguel *et al.* (2012), Schumpeter, siendo el principal contribuidor a la teoría de la innovación, desarrolla de diferente forma su idea clave de "destrucción creativa", sosteniendo que la creación de nuevas combinaciones da lugar a un aumento de la variedad en la población de firmas que compiten en términos de productos ofertados, métodos de producción y formas organizacionales.

Por ende, de esta creación creativa se desarrolla la creación tecnológica que es "...una relación a

“nuevas combinaciones”, donde debe haber una “chispa” –de creatividad, de nuevo conocimiento– que produzca un “salto”. Entender la creatividad tecnológica es realizar la comprensión propia de la tecnología como empresa humana, como proceso creativo” (López, 2000, p. 251). Como menciona Gutiérrez-Casas (2008, p. 55), “...la innovación en productos, calidad y organización induce nuevas inversiones que sirven de base para el crecimiento”.

Las fuentes de tecnología, la ingeniería de producción, el aprendizaje de producción, los suministros y diseños de oficina son parte del sector basado en la ciencia y éstas influyen de manera directa en las capacidades productivas de las empresas. Era importante explicar la innovación y ver su comportamiento en el crecimiento, la competitividad y la equidad y de las instituciones y sistemas de innovación como herramientas conceptuales para la formulación de políticas en los años 1980 y 1990 (Mytelka y Smith, 2001).

De acuerdo con Schumpeter, la inversión investigación y desarrollo estimula la variedad en los productos y un crecimiento. Siendo la investigación y desarrollo (I+D) parte de las redes de innovación que intervienen en los procesos productivos por medio de la incorporación de capacidades tecnológicas y competencias educativas, ayudan a que se genere ingresos per cápita en un país. Las capacidades productivas y tecnológicas se describen como intermediarios económicos en el modelo de la industrialización. La adaptación de nuevas tecnologías ayuda a que las empresas se vuelvan competentes en el mercado, ya que incrementa la producción de manera considerable. Pero no sólo las capacidades tecnológicas participan de manera eficaz y eficiente en los procesos de producción sino la investigación e ingeniería actúan como componentes de vital importancia.

En resumen, a partir de estas tres teorías, se considera una medida de análisis el crecimiento económico, y se establece como la innovación y las inversiones en investigación y desarrollo permiten aportar a más crecimiento económico. Primeramente, se tiene la teoría neoclásica de crecimiento, que explican como el crecimiento económico está en función de trabajo, capital y avances tecnológicos. La idea subyacente a que es que inversiones públicas y privadas en la innovación, la investigación y desarrollo, así como también se considera la función de la innovación desarrollada en la teoría de innovación como parte esencial en los procesos productivos que son parte de generación de PIB, y por ende de crecimiento.

1.4 Definiendo Innovación, Crecimiento Económico, e Investigación y Desarrollo (I+D)

A partir de la definición de los conceptos de innovación, de investigación y desarrollo (I+D) y de crecimiento económico, vamos a tener la oportunidad de hacer un análisis más concienzudo, y esto es lo que se quiere llevar a cabo en esta investigación. El proceso de crecimiento y desarrollo de una región, influido fuertemente por los sectores productivos, debe tener como la clave la innovación, ya que este factor tan importante generará la apertura y fluidez de talento que mejoraran los sistemas productivos.

Con frecuencia el grado de innovación es medido a través del número de patentes, o de otros indicadores de actividad científica, pero en un sentido amplio deberíamos de considerar como innovadoras muchas otras actividades que impulsan el desarrollo económico y social de una región. Entre dichas actividades no cabe duda de que muchos informes económicos y sociales han tenido

y tienen un impacto importante para impulsar el desarrollo socioeconómico tanto a nivel regional, como nacional e internacional (Guisán y Aguayo, 2005). Teniendo en cuenta esta premisa, se desarrolla el concepto de gasto en “innovación” como una definición menos precisa, brindada por Guisán y Aguayo (2005, p. 639), que el de gasto en I+D:

Con frecuencia el grado de innovación es medido a través del número de patentes, o de otros indicadores de actividad científica, pero en un sentido amplio deberíamos de considerar como innovadoras muchas otras actividades que impulsan el desarrollo económico y social de una región. Entre dichas actividades no cabe duda de que muchos informes económicos y sociales han tenido y tienen un impacto importante para impulsar el desarrollo socioeconómico tanto a nivel regional, como nacional e internacional.

Por su parte, Vélez y González (2008) plantean que los países en vías de desarrollo que logran acceder al conocimiento y las innovaciones necesarias tienen mayor competitividad y dinamismo en sus economías. Para ello, los países en vías de desarrollo han de realizar un esfuerzo desde sus gobiernos para poner en marcha una estrategia global que les permita entrar en un círculo virtuoso de conocimiento, progreso tecnológico y desarrollo económico. De manera similar, en un trabajo de la organización CONECTADEL (2013, p. 34) define la innovación:

La innovación es la fuerza motriz que impulsa a las empresas, organizaciones, instituciones y territorios, a la renovación de estructuras productivas y de gestión, y al surgimiento de nuevos sectores de actividad económica y de empleo. De este modo, la innovación se concreta en: i) Renovación y mejora de métodos de producción, ii) Renovación y ampliación de la gama de productos y servicios para la atención de necesidades, iii) Cambios en la gestión y organización empresarial, iv) Cambios en las condiciones de trabajo y las calificaciones para el empleo, v) Cambios y adaptaciones socio-institucionales, culturales y territoriales.

Sin embargo, como menciona Scheel (2012), para que una empresa tenga éxito en sectores nuevos que se fundamentan en los avances tecnológicos, debe de haber una dependencia de estas herramientas con el conocimiento regional, de la industria en la que se ejercen, y de las relaciones que todos ellos tengan con el sector académico y el gobierno. A partir de lo anterior se parte de la definición de investigación y desarrollo (I+D), la cual suele ser referida al trabajo creativo que se realiza de una forma disciplinada, continua, con el fin de aumentar los conocimientos, no solo el industrial, sino también el entendimiento del hombre y su entorno social y cultural, para que todo ello coadyuve a seguir generando mayores conocimientos y tecnología aplicada (OCDE, 2006). Por lo que, existe cierta relación entre el éxito de una empresa con el adquirir de conocimiento.

Al respecto de los investigadores que han dedicado esfuerzos importantes al tema, se puede definir los conceptos principales que se manejan en este trabajo. Siendo la innovación la creación de nuevos bienes y servicios, se define el proceso de innovación como aquel que permite adquirir

mejor dotación de los recursos productivos ya que produce creatividad, acceso a la información estratégica, diseño, calidad, productividad, entre otros en el sistema interno de la organización empresarial. La investigación y desarrollo (I+D) hace referencia al trabajo que realizan las instituciones, gobiernos y empresas para generar destrucciones creativas por medio de adquisición de conocimientos, sobre las diversas ciencias. Esta abarca la investigación básica, la investigación aplicada y el desarrollo experimental. Por último, se tiene el concepto de crecimiento económico que es el constante incremento en la capacidad productiva de la economía, de tal manera que incrementa el ingreso nacional (incremento del Producto Interno Bruto). Se observa por cambios cuantitativos entre los factores y el nivel de producción, tales como, el capital, mano de obra, la tecnología y los recursos naturales de un país.

2. Metodología

Solow (1957) proporcionó una metodología que permite medir la contribución de los 3 componentes básicos a la tasa de crecimiento agregada. De acuerdo con Sala (1994) comienza el análisis con la función de producción de la empresa j . La función de producción depende de 3 factores: el capital K , el trabajo L , y la tecnología A . La tecnología es potenciadora del trabajo, a través del factor A_{jt} :

$$Y_j = F(K_j, A_j L_j)$$

Donde K_{jt} , L_{jt} y A_{jt} son el capital, el trabajo y la tecnología y la tecnología empleados por la empresa j en el momento. A partir de la función de producción fundamentada en la teoría neoclásica, se considera Y como la variable dependiente con el PIB y la variable A , los avances tecnológicos, serán parte de las variables independientes utilizadas en el modelo propuesto. Por lo tanto, se tiene en primer lugar, la ecuación 1:

$$\begin{aligned} \text{Log(PIB)} = & \beta_0 + \beta_1 \text{Log(IDPUB)} + \beta_2 \text{Variables Innovación (S. Privado)} \\ & + \beta_3 \text{Variables Innovación (S. Público)} + \varepsilon \rightarrow (1) \end{aligned}$$

Donde la variable dependiente es el PIB, β_1 es el coeficiente del gasto público en I+D per cápita, β_2 es el coeficiente del gasto público en I+D per cápita, β_3 engloba todas las variables independientes del sector privado en innovación, y ε es el residuo.

Con este objetivo, se prevé analizar la experiencia de México mediante la revisión de variables relativas que se muestra en la siguiente tabla:

Tabla 1. Variables de investigación utilizadas en los modelos empíricos

#	Tipo	Nombre de la variable	Variable	Descripción
1	Dependiente	Producto Interno Bruto	PIBreal	Producto Interno Bruto real
2	Independiente	Gasto Público en Investigación y Desarrollo	IDPUB	Gastos del sector público en millones de pesos en trabajo creativo realizado sistemáticamente para incrementar los conocimientos En algunos formatos se señala gasto en tecnología y ciencia.
3	Independiente	Egresados de Programas De Posgrado	EgPOS	Número de egresados de especialidad, maestría y doctorado.
4	Independiente	Miembros del Sistema Nacional De Investigadores	SIN	Número de personas miembros del Sistema Nacional de Investigadores de todos los niveles
5	Independiente	Becas Vigentes del Conacyt (Nacional)	BecNAC	Número de becas otorgadas a estudiantes de posgrado en México
6	Independiente	Becas Vigentes del Conacyt (Extranjero)	BecEXT	Número de becas otorgadas a estudiantes de posgrado en el extranjero
7	Independiente	Artículos Publicados por Científicos Mexicanos	ART	Producción de artículos científicos publicados por investigadores mexicanos
8	Independiente	Patentes Concedidas en México (Nacionales)	PATCON	Número de patentes ya sea completa o en parte por personas con nacionalidad mexicana. Entendiéndose que la patente es un derecho legal conferido por una agencia oficial, nacional o regional que da monopolio de la invención.
9	Independiente	Patentes Concedidas en México (Extranjeras)	PATCOE	Número de patentes ya sea completa o en parte por personas con nacionalidad extranjera en México. Entendiéndose que la patente es un derecho legal conferido por una agencia oficial, nacional o regional que da monopolio de la invención.

Fuente: Elaboración Propia con Información del INEGI (2022), ANUIES (2022) y CONACyT (2021).

En concreto, utilizando las variables mostradas en el Tabla 1, se pretender identificar si existen estímulos por parte del Gobierno y sector privado en la generación de potencial innovador, de investigación y desarrollo (I+D) dentro de México.

$$\begin{aligned} \text{Log}(PIB) = \hat{a}_0 + \hat{a}_1 \text{Log}(IDPUB) + \hat{a}_2 \text{EgPOS} + \hat{a}_3 \text{SIN} + \hat{a}_4 \text{BecNAC} + \hat{a}_5 \text{BecExt} + \hat{a}_6 \text{ART} + \hat{a}_8 \text{PATCON} \\ + \hat{a}_9 \text{PATCOE} + \hat{a} \rightarrow (2) \end{aligned}$$

Donde la variable dependiente es el PIB, β_1 es el coeficiente de la gasto público en investigación y desarrollo (I+D), β_2 es el coeficiente de egresados de posgrado, β_3 es el coeficiente de becas nacionales, β_4 es el coeficiente de becas para el extranjero, β_5 es el coeficiente de becas para el extranjero, β_6 es el coeficiente artículos científicos publicados, β_7 es el coeficiente patentes en México por personas con nacionalidad mexicana, β_8 es el coeficiente patentes en México por personas con nacionalidad en el extranjero y ε es el residuo. Sobre de este modelo 2, se estimó la relación de las variables que forman parte de la formación en innovación, investigación y desarrollo con el producto interno bruto en el período de 1980 al 2019 con base del método Mínimos Cuadrados Ordinarios con datos de series de tiempo. Los resultados esperados de este modelo son: (1) las variables independientes tengan una relación positiva y significativa con el PIB.

3. Análisis y resultados

Los estadísticos descriptivos de variables IDPUB, BecEXT, ART y PARCOE, EgPOS, SIN, BecNAC Y PACON, observándose en casi todos los casos 40 observaciones, excepto en las SIN (N=36) y ART (N=39), como se muestran en la tabla 2.

Tabla 2. Estadísticos Descriptivos

	Media	Desviación estándar	N
PIBreal	1015847672.30	1786195766.762	40
IDPUB	24158.45065907605700	22805.367427988636000	40
EgPOS	55766.225	76658.7576	40
SIN	11686.611	8072.5258	36
BecNAC	17929.025	18866.6569	40
BecEXT	2679.550	1938.3525	40
ART	6122.308	4874.7031	39
PATCON	208.025	110.7919	40
PATCOE	5531.050	3417.5582	40

Fuente: Elaboración propia.

Al estimar con el modelo 2 y con el uso del *software* RStudio, se encontró una R^2 del 0.98, así como también que los coeficientes de las variables log (IDPUB), BecEXT, ART y PARCOE son estadísticamente significativo y positivos con el PIB. Aunque los resultados también arrojan que los coeficientes de las variables EgPOS, SIN, BecNAC Y PACON no son estadísticamente significativos.

Tabla 3. Estimación del Modelo 1

Variables	Estimación	Error estándar	Valor t	Pr(> t)
Constante	1.57E+01	4.77E-02	327.789	< 2e-16 ***
log(IDPUB)	4.25E-02	7.93E-03	5.353	1.18e-05 ***
EgPOS	8.45E-08	1.21E-07	0.7	0.489699
SIN	-4.82E-06	7.26E-06	-0.664	0.512544
BecNAC	-3.02E-06	2.33E-06	-1.299	0.205057
BecEXT	3.45E-05	9.56E-06	3.614	0.001217 **
ART	3.97E-05	8.92E-06	4.456	0.000131 ***
PATCON	-1.45E-04	9.79E-05	-1.479	0.150774
PATCOE	1.31E-05	3.82E-06	3.424	0.001984 **
El error estándar residual fue 0.0307 en 27 grados de libertad				
R cuadrada: 0.9898		R cuadrada ajustada: 0.9868		
F-statistic: 327 en 8 y 27 DF, valor-p<0.2e-16				

Fuente: Elaboración propia.

A pesar de que los resultados dan variables positivas, la fue muy alta, por lo que se sospecha autocorrelación. Por lo tanto, se realizó la prueba *Breusch-Godfrey*, encontrándose homocedastidad, es decir existe autocorrelación entre las variables, como se observa en el Tabla 4.

Tabla 4. Prueba Breusch-Godfrey para correlación serial

LM TEST=	9.7573
df=	5
valor-p=	0.0821
Ho de homocedastidad se acepta en un nivel de significancia del 5%	

Fuente: Elaboración propia.

Para corregir esto, se hizo otro modelo con las variables significativas, como se muestra:

$$\text{Log}(PIB) = \hat{a}_0 + \hat{a}_1 \text{Log}(IDPUB) + \hat{a}_5 \text{BecExt} + \hat{a}_6 \text{ART} + \hat{a}_9 \text{PATCOE} + \hat{a} \rightarrow (3)$$

A partir del modelo 3, se realizó la prueba *Breusch-Godfrey* y se encontró heterocedasticidad entre los coeficientes, se rechaza la hipótesis de autocorrelación.

Tabla 5. Prueba Breusch-Godfrey para correlación serial

LM TEST=	8.9521
df=	5
valor-p=	0.111
Ho de homocedasticidad se rechaza	

Fuente: Elaboración propia.

Por lo que, se estimó las variables del modelo 3, encontrándose que los coeficientes de las variables log(IDPUB), BecEXT, ART y PARCOE son estadísticamente significativos y positivos sobre el PIB, véase Tabla 6.

Tabla 6. Estimación del Modelo 3

	Estimación	Error estándar	Valor t	Pr(> t)
	1.57E+01	3.02E-02	519.229	< 2e-16 ***
log(IDPUB)	4.12E-02	4.67E-03	8.823	2.60e-10 ***
BecEXT	2.25E-05	7.57E-06	2.975	0.005354 **
ART	2.16E-05	3.58E-06	6.031	7.84e-07 ***
PATCOE	1.53E-05	3.64E-06	4.195	0.000185 ***
Significancia: * en 10%, ** en 5%, *** en 1%				
El error estándar residual fue 0.0378 en 34 grados de libertad				
R ² : 0.9833		R ² : 0.9833		
F-statistic: 501.9 en 4 y 34 DF, valor-p: < 2.2e-16				

Fuente: Elaboración propia.

Se interpreta los coeficientes significativos de la siguiente manera:

- Un incremento de 1% en gasto público en investigación y desarrollo en un año aumenta el PIB en el mismo año un 4.166% en un intervalo de confianza del 99%.
- Cuando se incrementa el número de las becas en el extranjero en el extranjero en un año, se incrementa el PIB en el mismo año un 0.0023% en un intervalo de confianza del 95%.
- Cuando se incrementa un artículo publicado por un científico mexicano per cápita en un año, se incrementa el PIB en el mismo año en un 0.002% en un intervalo de confianza del 99%.
- Cuando se incrementa una patente concebida por una persona con nacionalidad, se incrementa PIB en el mismo año en un 0.00153% en un intervalo de confianza del 99%.

Estos resultados muestran apoyo a la hipótesis de nuestro modelo que sugiere que la inversión pública en I+D, las variables de innovación privada y pública es relevante para determinar el crecimiento económico de México. Sin embargo, también reportamos el alcance del modelo, ya que sería posible su mejora en posteriores investigaciones, tal es el caso de algunas omisiones de variables, por las pocas observaciones de algunas de ellas, como fueron: el gasto privado en investigación y desarrollo, la exportación de alta tecnología, los trabajos dedicados a la formación de innovación y desarrollo, y también lo que es la fuerza laboral en servicios científicos, técnicos, de educación y enseñanza. De algunas de estas variables se trataron de tomar variables de aproximación, como lo es el número de los miembros del sin. Pero en general, esta omisión de variables pudiera mejorarse en investigaciones futuras si estuviera disponible esta información, ayudando a tener mejor significancia en el modelo.

Conclusiones

Esta investigación encontró significancia estadística en el análisis métrico de la inversión pública y privada en el crecimiento del producto interno bruto, viéndose que las patentes concebidas, las inversiones realizadas por el gobierno en instituciones educativas, la producción científica de artículos publicados, y las becas para posgrado tienen un efecto positivo en la producción. La inversión en innovación destaca un papel importante dentro del crecimiento y desarrollo económico, ya sea a través de generar nuevas maneras de producción, o crear mejoras en los procesos de producción, o estimular el comercio de bienes y servicio.

Tomando un ejemplo de un caso hipotético, un pequeño productor industrial puede mejorar su producción y expandir la venta de su producto a través de un proceso innovador. De manera similar, agricultores que siembran con agua tratada pueden beneficiarse por procesos de limpieza de aguas residuales a través del uso de enzimas en los procesos de purificación, las cuales sin el estudio de científicos no se conocería ni se utilizarían.

Con esta investigación se resalta la importancia de la inversión pública y privada en la investigación y desarrollo (I+D), por lo que se recomienda una política pública que incida de manera determinante en este rubro particular. Además, sin dejar de señalar las aportaciones que tiene en los sectores productivos terciarios, la innovación provee de espirales positivas de tecnología para la mano de obra especializada, y en general, para la sociedad en su conjunto. Sin duda, las contribuciones que puede generar la innovación, a través de la producción y aplicación de conocimientos y tecnologías, puede ser mayor de lo que se espera en el crecimiento económico.

Agradecimientos

Se agradecen los comentarios a documentos previos, como los de la Dra. Rosa Maria Garcia Almada, Dra. Julieta Flores Amador, Mtro. Cesar Alfredo Olivas Andrade, y especialmente, al apoyo incondicional de la Mtra. Lisbeily Dominguez Ruvalcaba para el desarrollo de esta investigación. También se agradecen los comentarios y sugerencias de un árbitro anónimo de la revista, que contribuyó a una mejora sustantiva de un texto previo.

Referencias

- Akinwale, Y. O., Dada, A. D., Oluwadare, A. J., Jesuleye, O. A., y Siyanbola, W. O. (2012). Understanding the Nexus of R&D, Innovation and Economic Growth in Nigeria. *International Business Research*, 5(11), 187-196. DOI: <https://doi.org/10.5539/ibr.v5n11p187>.
- Albuquerque, F. (2008). Innovación, Transferencia de Conocimientos y Desarrollo Económico Territorial: Una Política Pendiente. *Arbor: Ciencia, Pensamiento y Cultura*, CLXXXIV, 732. Recuperado de: <https://dialnet.unirioja.es/servlet/articulo?codigo=2576588>.
- Allen, W. B., Doherty, N. A., Weigelt, K., y Mansfield, E. (2013). *Managerial Economics: Theory, Applications, and Cases* (Eight ed.). W. W. Norton & Company. Recuperado de: <https://cir.nii.ac.jp/crid/1130000793718226048>.
- ANUIES (2022). Noticias. *Asociación Nacional de Universidades e Instituciones de Educación Superior*. Recuperado de: <http://www.anuies.mx/noticias/>.
- Arrow, K. J. (1951). *Social Choice and Individual Values*. Wiley. DOI: <https://www.jstor.org/stable/j.ctt1nqb90>.
- Beltrán-Morales, L. F., Almendarez-Hernández, M. A., y Jefferson, D. J. (2018). El Efecto de la Innovación en el Desarrollo y Crecimiento en México: Una Aproximación Usando las Patentes. *Problemas del Desarrollo*, 49(195), 55-76. Recuperado de: http://www.scielo.org.mx/scielo.php?script=sci_arttext&pid=S0301-70362018000400055&lng=es&nrm=iso.
- Beristain, L. M. (2009). Una Revisión de la Interpretación Económica sobre la Innovación. *Journal of Technology Management & Innovation*, 4, 140-149. DOI: <http://dx.doi.org/10.4067/S0718-27242009000400012>.
- CONACyT (2021). *Anexo Estadístico Final*. Consejo Nacional de Ciencia y Tecnología. Recuperado de: <https://www.siicyt.gob.mx/index.php/transparencia/informes-conacyt/informe-general-del-estado-de-la-ciencia-tecnologia-e-innovacion/informe-general-2019>.
- CONNECTADEL (2013). *Módulo 1. Empresas, Entorno Empresarial y Territorio. Introducción a Conceptos de Redes, Innovación y Competitividad*. Recuperado de: <http://www.conectadel.org/wp-content/uploads/downloads/2013/02/modulo1bajaresolucion-110623125602-phpapp02.pdf>.
- Dornbusch, R., Fischer, S., y Startz, R. (2008). *Macroeconomía* (10a ed.). McGrawHill.
- Galindo, M. Á., Riheiro, D., y Méndez, M. T. (2012). Innovación y Crecimiento Económico: Factores que estimulan la innovación. *Cuadernos de Gestión*, 12, 51-58. Recuperado de: <https://addi.ehu.es/handle/10810/7980>.
- German-Soto, V., Soto-Rubio, M., & Gutiérrez-Flores, L. (2021). Innovación y Crecimiento Económico Regional: Evidencia para México. *Problemas del Desarrollo*, 52(205), 145-172. Recuperado de: http://www.scielo.org.mx/scielo.php?script=sci_arttext&pid=S0301-70362021000200145&lng=es&nrm=iso.
- Guisán, M. C., & Aguayo, E. (2005). Gasto en I+D, Desarrollo Económico y Empleo en las Regiones Españolas y Europeas. *Estudios de Economía Aplicada*, 23(3), 637-662. Recuperado de: <https://www.redalyc.org/pdf/301/30123307.pdf>.

- Guloglu, B., & Tekin, R. 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. Recuperado de: <https://link.springer.com/article/10.14208/BF03353831>.
- Gutiérrez-Casas, L. E. (2008). Potencial de desarrollo y gestión de la política regional: el caso de Chihuahua. *Frontera norte*, 19(38), 7-36. Recuperado de: https://www.scielo.org.mx/scielo.php?pid=S0187-73722007000200001&script=sci_arttext.
- INEGI (2022). *Producto Interno Bruto por actividad económica*. Recuperado de: <https://www.inegi.org.mx/temas/pib/>.
- Kraft, J., y Kraftvona, I. (2012). Innovation-Globalization-Growth (Selected Relations). *Engineering Economics*, 23(4), 395-405. DOI: <https://doi.org/10.5755/j01.ee.23.4.2568>.
- López, G. A. (2000). Perspectivas para el Análisis de un Recorrido por la Teoría. *Cuadernos de Administración*, 19(3), 243-273. Recuperado de: http://www.scielo.org.co/scielo.php?pid=S0120-35922006000100010&script=sci_arttext.
- Luengo, M. J., y Obeso, M. (2013). El Efecto de la Triple Hélice en los Resultados de Innovación. *Revista De Administracion de Empresas*, 53(4), 388-399. DOI: <https://doi.org/10.1590/S0034-75902013000400006>.
- Mankiw, N. G. (2000). *Macroeconomics* (4a ed.). Worth Publishers.
- Marroquín, J., y Rios, H. (2012). Inversión en Investigación y Crecimiento Económico: un Análisis Empírico desde la Perspectiva de los Modelos de I+D. *Investigación económica*, LXXI(282), 15-33. Recuperado de: https://www.scielo.org.mx/scielo.php?pid=S0185-16672012000400001&script=sci_arttext.
- Mytelka, L. K., y Smith, K. (2001). Policy Learning and Innovation Theory: an Interactive and Co-Evolving Process. *Research Policy*, 31(8-9), 1467-1479. DOI: [https://doi.org/10.1016/S0048-7333\(02\)00076-8](https://doi.org/10.1016/S0048-7333(02)00076-8).
- OCDE (2006). *Manual de Oslo: Guía para la Recogida e Interpretación de Datos sobre Innovación*. OCDE. Recuperado de: https://read.oecd-ilibrary.org/science-and-technology/manual-de-oslo_9789264065659-es#page1.
- Ramírez, I. V. (2014). *La Inversión Pública y Privada en Innovación, Investigación, y Desarrollo (I+D) como Detonadores del Crecimiento Económico durante el Periodo 1980 a 2010*. Mimeo, UACJ.
- Sala, X. (1994). *Apuntes de Crecimiento Económico*. Antoni Bosch.
- Scheel, C. (2012). El Enfoque Sistémico de la Innovación: Ventaja Competitiva de las Regiones. *Estudios Gerenciales*, 1-14. Recuperado de: http://www.scielo.org.co/scielo.php?pid=S0123-59232012000500003&script=sci_arttext.
- Schultz, T. W. (1971). *Investment in Human Capital. The Role of Education and of Research*. The Free Press.
- Sen, A. (1999). *Development as Freedom*. Oxford University Press.
- Sloman, J., y Wride, A. (2009). *Economics* (7a ed.). Pearson Education Limited.
- Solow, R. (1957). A Contribution to the Theory of Economic Growth. *Quarterly Journal of Economics*, 7, 65-94. DOI: <https://doi.org/10.2307/1884513>.
- Todaro, M. P., y Smith, S. C. (2020). *Economic Development* (13a ed.). Pearson Education Limited.