

## Inversión en investigación y desarrollo y fluctuaciones macroeconómicas: Un modelo de equilibrio general para una economía pequeña y abierta

### Investment in research and development and macroeconomic fluctuations: A general equilibrium model for a small open economy

William Richard Sánchez Tapia

Universidad Nacional de Ingeniería, Lima, Perú

Recibido: 07/12/2022  
Aceptado: 08/12/2023  
Publicado: 31/12/2023

Correspondencia:  
[william.sanchez.t@uni.pe](mailto:william.sanchez.t@uni.pe)  
<https://orcid.org/0000-0001-7767-5020>

Licencia:



Revista de la Facultad de Ingeniería Económica, Ingeniería Estadística y Ciencias Sociales de la Universidad Nacional de Ingeniería

#### RESUMEN

Se construye un modelo de Ciclos Económicos Reales que incorpora un sector generador de Investigación y Desarrollo (I+D) a nivel de productos, con el fin de evaluar la importancia cuantitativa de ese sector en la dinámica macroeconómica de una economía pequeña y abierta como la peruana. Se encuentra que un sector innovador eficiente a nivel de productos juega un rol importante como “escudo” de la economía ante choques exógenos y es amplificador de la dinámica macroeconómica ante políticas de I+D. Así, el sector I+D logra reducir el impacto inicial sobre el crecimiento económico de un choque interno negativo en 0.6 puntos porcentuales y de un choque externo negativo en casi 2 puntos porcentuales respecto al caso en que no hay un sector I+D. Asimismo, un aumento del 1 por ciento en la innovación a nivel de productos (más variedades de productos en la economía) genera un mayor crecimiento del Producto Bruto Interno (PBI) en 0.35 puntos porcentuales, un incremento en el crecimiento del empleo en 0.20 puntos porcentuales y un aumento en el crecimiento de la productividad de la economía en 0.90 puntos porcentuales.

**Palabras Clave:** *Ciclos Económicos Reales, Investigación y Desarrollo, dinámica macroeconómica, economía pequeña y abierta, sector innovador eficiente.*

## ABSTRACT

A model of Real Business Cycles that includes a sector that generates Research and Development (R&D) at the product level is estimated in order to assess the quantitative importance of this sector in the macroeconomic dynamics of a small and open economy like the Peruvian economy. It is found that an efficiently innovative product-level sector plays a crucial role as a “shield” for the economy against exogenous shocks and amplifies macroeconomic dynamics in the face of R&D policies. Thus, the R&D sector manages mitigates the initial impact on economic growth arising from an adverse internal shock by 0.6 percentage points, and from an unfavorable external shock by 2 percentage points compared to the scenario without an R&D sector. Likewise, a 1 percent increase in innovation at the product level (more varieties of products in the economy) rises GDP growth by 0.35 percentage points, boosts employment growth by 0.20 percentage points, and increases the growth of the economy’s productivity by 0.90 percentage points.

**Keywords:** *Real Economic Cycles, Research and Development, macroeconomic dynamics, small and open economy, efficient innovative sector.*

## 1. INTRODUCCIÓN

La inversión en investigación y desarrollo (I+D) desempeña un papel fundamental en el impulso del crecimiento económico sostenible a largo plazo, según Aghion et al. (1998). No obstante, la percepción de la inversión en I+D no se limita únicamente a ser un motor del progreso tecnológico; también se considera un elemento crucial que incide directamente en la creación de empleo, el aumento de la productividad y, en última instancia, en la estabilidad y dinámica de la economía a nivel macroeconómico (Comin & Gertler, 2006; Kung y Schmid, 2015).

En este contexto, el propósito de esta investigación es explorar la importancia de la inversión de I+D como un impulsor esencial de las fluctuaciones macroeconómicas. Se examinará cómo afecta tanto a la oferta como a la demanda, resaltando su papel no solo como generador de crecimiento a largo plazo, sino también como un componente crucial en la configuración de un entorno económico resistente y resiliente ante choques<sup>1</sup> internos y externos que puede enfrentar la economía.

---

1 Un choque económico es un evento exógeno y sorpresivo, como un desastre natural, un incremento no esperado de la productividad –gracias a la inclusión de una nueva tecnología revolucionaria- o un aumento del gasto público no esperado por los agentes económicos.

Para lograr el objetivo de este estudio, se hará uso de los modelos de equilibrio general, dinámicos y estocásticos (DSGE, por sus siglas en inglés<sup>2</sup>) puesto que son instrumentos valiosos para el análisis cuantitativo de tópicos macroeconómicos con un enfoque de corto a mediano plazo. Se caracterizan por incorporar la conducta de diversos agentes económicos que interactúan entre ellos en contextos de competencia perfecta o imperfecta. Los modelos DSGE permiten analizar las fluctuaciones económicas, es decir, desviaciones de corto o mediano plazo de variables macroeconómicas respecto a su tendencia de largo plazo o nivel potencial. Por lo general, la literatura económica ha clasificado los modelos de equilibrio general de acuerdo con la causa supuesta de la generación de las fluctuaciones económicas. Así, los modelos de ciclo económico real (conocidos también como modelos RBC por sus siglas en inglés<sup>3</sup>) suponen que choques reales o de oferta son los principales causantes de las desviaciones temporales del PBI, mientras que los modelos nekeynesianos asumen que choques nominales o de demanda, también pueden generar dichas fluctuaciones.

La ventaja de utilizar los modelos DSGE, y específicamente los modelos RBC, radica en que sirven para analizar el comportamiento de las principales variables macroeconómicas ante diversos choques económicos (funciones impulso respuesta), realizar ejercicios contrafactuales de política económica y generar proyecciones macroeconómicas. A pesar de su utilidad, estos modelos se han circunscrito principalmente al análisis de política monetaria o, en ciertos casos, de política fiscal, sin ampliar su espectro a temas cada vez más trascendentes en el análisis macroeconómico como son la productividad agregada, distribución de ingresos o la incorporación de un sector I+D.

En esta investigación se plantea ahondar en uno de estos nuevos tópicos, utilizando un modelo de equilibrio general para una economía pequeña y abierta –como es el caso peruano–, donde se incorpora un sector innovador a nivel de productos que interactúa con los agentes económicos. En otras palabras, la Productividad Total de Factores (PTF) se vuelve endógena, lo cual le hace dependiente de las condiciones económicas a partir de la introducción de un sector generador de nuevos productos derivados de la I+D. Modelos de este tipo ya han sido construidos para analizar cuestiones relacionadas con el crecimiento de largo plazo de la economía; sin embargo, ahora se incorpora un mecanismo similar al modelo de variedades de largo plazo en el estudio de la dinámica de corto y mediano plazo de la economía. Específicamente, en esta investigación se hará uso de un modelo RBC, al estilo de Aguiar y Gopinath

---

2 Dynamic stochastic general equilibrium modeling.

3 Real Business Cycles.

(2007), añadiendo un sector con competencia monopolística y un sector generador de innovación y desarrollo a nivel de productos, siguiendo de cerca los modelos de Comin y Gertler (2006), Kung y Schmid (2015) y Comin et al. (2009).

## 2. MARCO TEÓRICO

Los modelos DSGE se han utilizado para medir el impacto de la I+D en el crecimiento económico de la economía. Así, Hasumi et al. (2017), encontró que un shock tecnológico puro impulsado por las actividades de I+D representaba casi la mitad de la variación del PBI real, y que la variación restante se explicaba por los componentes del ciclo económico. En la misma línea, Pouraghaei (2016), mostró empíricamente de que la inversión en I+D provoca episodios de crecimiento en las pequeñas economías abiertas. Además, Hafeez et al. (2019), realizaron un análisis global de 60 países desarrollados y en desarrollo, encontrando una relación significativa y positiva entre el gasto en I+D y el crecimiento económico, lo que confirma las relaciones a largo y corto plazo. Asimismo, Christensen (2015) realizó un análisis cuantitativo del apoyo público a la I+D en la Unión Europea y mostró que el aumento del gasto público en este ámbito podría tener un impacto significativamente positivo en el crecimiento económico y el empleo.

Dentro de los modelos DSGE, los modelos RBC son los más utilizados para estudiar fluctuaciones macroeconómicas. Sin embargo, es importante señalar que modelos RBC originales fueron desarrollados y calibrados principalmente para países desarrollados como es el caso de Estados Unidos (Kydland & Prescott, 1982; Long & Plosser, 1983; mendoza, 1991; King & Rebelo, 1999). Es por ello, que en esta investigación se agregan nuevos elementos para estudiar características particulares de economías emergentes, pues los momentos de las variables macroeconómicas son totalmente diferentes en comparación de las economías desarrolladas.

En la presente investigación se propone un modelo RBC, al estilo de Aguiar y Gopinath (2007), y Ortiz y Wishart (2012), añadiendo un sector con competencia monopolística, que impulse a los empresarios que producen bienes intermedios diferenciados, y un sector generador de innovación y desarrollo a nivel de productos, siguiendo de cerca los modelos de Comin y Gertler (2006), Kung y Schmid (2015) y Comin et al. (2009). Esto permitirá estudiar las fluctuaciones macroeconómicas en una economía emergente como la peruana, en la que se considere un sector I+D.

A continuación, se detalla brevemente cada una de las investigaciones que se toman como base para el modelo propuesto en este artículo y posteriormente se describen los aspectos que se toman de cada uno de ellos. Aguiar y Gopinath (2007), construyeron un modelo de ciclos económicos reales para una economía emergente pequeña y abierta, donde existe la posibilidad de que los consumidores domésticos se financien con deuda internacional. Una particularidad del modelo de Aguiar y Gopinath es que incluye choques a la tendencia del PBI (o choques permanentes), con el objetivo de evaluar su importancia cuantitativa respecto a los choques transitorios de productividad, más usados en modelos de este tipo. Así, estos autores demuestran la importancia de los choques permanentes respecto a los choques transitorios en economías emergentes, aunque sucede lo contrario en economías pequeñas y desarrolladas. Posteriormente, el artículo de Aguiar y Gopinath fue ampliado para una muestra mayor de países, —la cual incluye Perú—, por Ortiz y Wishart (2012), en el cual encuentran que, adicionalmente a los choques permanentes, las fricciones financieras también son mecanismos importantes para cuantificar la dinámica de los ciclos económicos en economías emergentes.

No obstante, a pesar de que los modelos propuestos por Aguiar y Gopinath (2007) y Ortiz y Wishart (2012) fueron pioneros en la expansión de los modelos RBC para incluir economías emergentes, en ambos modelos los choques de productividad se consideran totalmente exógenos, por lo que la causa específica de un incremento repentino de la productividad —y por tanto del incremento del potencial de crecimiento de la economía—, no está explicada totalmente. En este sentido, la incorporación de un sector de I+D en tales modelos no solo contribuiría a endogenizar los choques de productividad, sino que también podría enriquecer el análisis de las fluctuaciones macroeconómicas en economías emergentes.

Algunos trabajos previos han endogenizado la PTF en función de las condiciones económicas, pero centrándose en estudiar ciclos económicos en países desarrollados. Así, Comin y Gertler (2006) identificaron lo que denominan ciclos de mediano plazo, que se definen como la suma de variaciones de alta y mediana frecuencia del PBI, y observan una alta correlación positiva (movimientos procíclicos) entre esta variable e indicadores de cambio tecnológico, investigación y desarrollo y eficiencia en la utilización de recursos, para posteriormente desarrollar un modelo que incorpore estas características y sea consistente con los hechos macroeconómicos observados en la economía americana tanto en el corto como en el mediano plazo. En línea con esta última investigación, en Comin et al. (2009), se desarrolla un modelo donde choques al potencial de crecimiento económico son las principales fuerzas impulsoras

del ciclo económico, aunque esta dinámica incorpora un costo de adopción tecnológica. Los autores demostraron que incorporar un mecanismo de adopción tecnológica endógena juega un rol importante en la amplificación de choques macroeconómicos.

Otra forma de modelar productividad endógena se observa en Bianchi et al. (2019), donde los autores construyen y estiman un modelo de ciclos económicos con crecimiento endógeno y difusión tecnológica, de manera que observan que las externalidades generadas por la I+D son importantes para relacionar las fluctuaciones de corto plazo con el crecimiento de largo plazo de la economía. Asimismo, logran identificar la dinámica de la difusión tecnológica durante la crisis financiera de los años 2007-2008 y la capacidad que tiene el mecanismo de productividad endógena para generar comovimientos positivos entre el consumo y la inversión. En esa línea, el estudio de Anzoátegui et al. (2019) examina la caída de la productividad después de la crisis financiera de los años 2007-2008 y la relaciona con una respuesta endógena de la economía. Asimismo, la prociclicidad de la I+D, es decir, la correlación positiva entre el gasto en I+D y el PBI, es estudiado en Barlevy (2007), donde se argumenta que dicha característica se explica por una externalidad dinámica inherente al proceso de I+D que hace que los agentes de este sector tengan una visión de corto plazo y se guíen por el ambiente macroeconómico en general.

Como se ha evidenciado, se han desarrollado modelos para analizar los ciclos económicos en economías emergentes, aunque en su mayoría mantienen el supuesto de que la Productividad Total de Factores (PTF) es completamente exógena. En contraste, algunas investigaciones han logrado endogenizar la productividad mediante la incorporación del sector I+D, aunque dichos modelos han sido principalmente aplicados a países desarrollados.

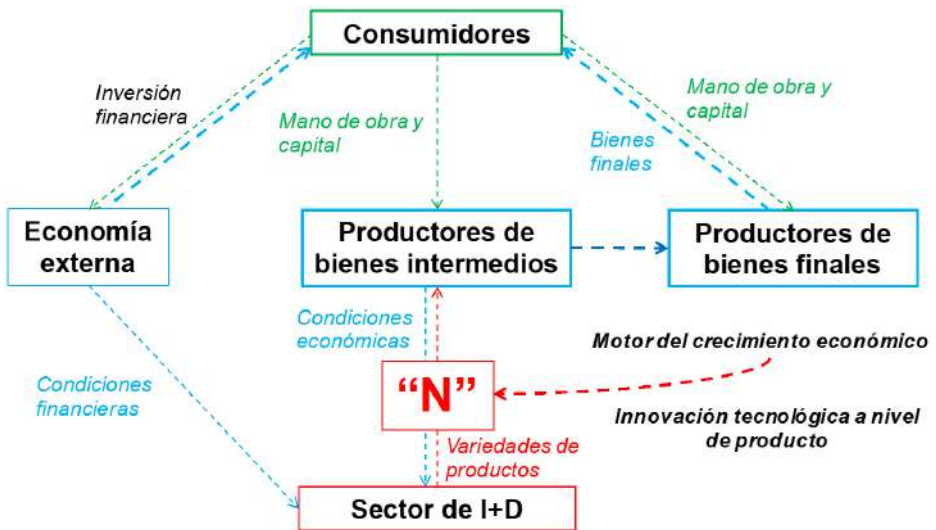
En este contexto, el presente artículo se propone integrar los modelos RBC adaptados para economías emergentes, incorporando simultáneamente un sector I+D. De esta manera, se pretende modelar de forma endógena la PTF. El enfoque de esta investigación busca llenar la brecha existente al ofrecer un marco que permita examinar el papel del sector I+D y su influencia en las fluctuaciones macroeconómicas en países emergentes.

### 3. EL MODELO

El modelo empleado es uno de ciclo económico real (RBC, por sus siglas en inglés), dado que asume que las fluctuaciones económicas son generadas por choques reales o de oferta. Desde un punto de vista tradicional, el modelo es

un RBC de dos sectores, uno de productores de bienes intermedios, que actúan en competencia imperfecta o monopolística, y el otro de productores de bienes finales, que se encuentran en un ambiente de competencia perfecta. Asimismo, existen hogares que consumen los bienes finales y ofertan mano de obra, además de tener acceso a financiamiento internacional. Finalmente, la particularidad del modelo es que la productividad agregada de la economía depende de las condiciones económicas. Ello se logra mediante la inclusión de un sector generador de innovación y desarrollo a nivel de productos que, como su propio nombre lo indica, genera nuevas variedades de productos en la economía, originando con ello el crecimiento económico. Estas nuevas variedades son vendidas por los productores de bienes intermedios. En la Figura 1 se presenta un esquema resumido de los agentes del modelo y sus interacciones.

**Figura 1.**  
*Modelo RBC con un sector generador de I+D*



### 3.1 LOS CONSUMIDORES

Los consumidores u hogares consumen bienes finales,  $C_t$ , y ofertan mano de obra,  $L_t$ , en un mercado competitivo. Asimismo, son dueños del capital de la economía,  $K_t$ , y pueden ahorrar en instrumentos financieros (bonos) de la economía externa,  $B_t$ . Por otra parte, también son dueños de los productores de bienes intermedios, por lo que reciben los beneficios -neto de

impuestos- de parte de estas firmas,  $\Pi_t - T_t$ . El programa de optimización de los consumidores es el siguiente:

$$\text{Max}_{\{C_t, L_t, K_{t+1}, B_{t+1}\}_{t=0}^{\infty}} E_t \sum_{t=0}^{\infty} \beta^t \frac{[C_t^Y (1 - L_t)^{1-Y}]^{1-\sigma}}{1 - \sigma}$$

Sujeto a:

$$C_t + K_{t+1} = Y_t + (1 - \delta)K_t - \frac{\Phi_K}{2} \left( \frac{K_{t+1}}{K_t} - \exp^{\mu_N} \right)^2 K_t + \Pi_t - T_t - B_t + q_t B_{t+1}$$

Donde  $Y_t$  es el ingreso de la economía -el PBI- y  $q_t$  es el “precio” del financiamiento externo, que se define de la siguiente manera:

$$\frac{1}{q_t} = 1 + r_t^* + \psi^* [\exp^{(B_{t+1} - B)} - 1]$$

Siendo  $r_t^*$  es la tasa de interés internacional, que se modela como un proceso exógeno,  $B$  es el valor de estado estacionario de la deuda de la economía y  $\psi^*$  es un parámetro que mide la sensibilidad del costo del financiamiento externo al nivel de deuda del país.

### 3.2 LOS PRODUCTORES DE BIENES INTERMEDIOS

Existe un continuo de firmas con poder monopólico indexadas por  $i$ . Cada una de ellas tiene la capacidad de establecer precios,  $P_t^{i,X}$ , por encima del que existiría en un mercado competitivo. Para producir bienes intermedios,  $X_t^i$ , cada uno de estos productores utiliza bienes finales que se consiguen a un costo marginal unitario. Estos agentes maximizan sus beneficios, representados por la siguiente ecuación:

$$\Pi_t^i = P_t^{i,X} X_t^i - X_t^i (P_t^{i,X})$$

Donde  $X_t^i(P_t^{i,X})$  es la demanda de bienes intermedios del  $i$ -ésimo productor.

### 3.3 LOS PRODUCTORES DE BIENES FINALES

Estas firmas actúan en un ambiente de competencia perfecta. Utilizan el capital y la mano de obra de los consumidores conjuntamente con un compuesto de bienes intermedios,  $M_t$ , para producir los bienes finales,  $Y_t$ . La



tecnología de producción es la siguiente:

$$Y_t = [A_t K_t^\alpha L_t^{1-\alpha}]^{1-\epsilon} M_t^\epsilon$$

Donde  $A_t$  es la productividad total de factores, modelada mediante un proceso exógeno, mientras que  $\alpha$  es la participación del capital en la producción y  $M_t$  es un compuesto CES de bienes intermedios diferenciados,  $X_t^i$ , cuya importancia en el proceso productivo se cuantifica a través del parámetro  $\epsilon$ . Tomando en cuenta que  $N_t$  es el número total de bienes intermedios de la economía que son usados en la producción de bienes finales, el compuesto CES de bienes intermedios se define así:

$$M_t = \left[ \int_0^{N_t} (X_t^i)^{\frac{1}{\nu}} di \right]^\nu$$

Siendo  $i$  el indicador de firmas de bienes intermedios, tal que  $i \in [0, N_t]$ , y  $\nu$  es la elasticidad de sustitución entre bienes intermedios. El beneficio del productor de bienes finales está representado en la siguiente ecuación:

$$\Omega_t = [A_t K_t^\alpha L_t^{1-\alpha}]^{1-\epsilon} \left[ \int_0^{N_t} (X_t^i)^{\frac{1}{\nu}} di \right]^{\nu\epsilon} - R_t^k K_t - W_t L_t - \int_0^{N_t} P_t^i X_t^i di$$

Se debe tener en cuenta que  $R_t^k$  es el costo de uso del capital por parte de estas firmas y  $W_t$  es el salario real por la mano de obra utilizada. En ese sentido, estos productores elegirán las cantidades óptimas de capital, trabajo y bienes intermedios que maximizan sus beneficios, sujeto a la tecnología de producción utilizada.

### 3.4 EL SECTOR GENERADOR DE INNOVACIÓN Y DESARROLLO A NIVEL DE PRODUCTOS

Los nuevos productos son desarrollados a través de la Innovación y Desarrollo. El número de nuevos bienes intermedios en la economía evoluciona de la siguiente manera:

$$N_t = \psi_t S_t - \phi_N N_{t-1} + \tau_t$$

Donde  $S_t$  representa las unidades de producción que se desvían hacia este sector o, en otras palabras, el gasto real del sector I+D en la economía;  $\psi_t$  es la productividad del sector I+D en la generación de nuevos productos,

$\phi_N$  es un parámetro que mide la tasa de sobrevivencia de los bienes intermedios entre períodos y  $t_t$  es un choque de innovación tecnológica a nivel de productos, modelado como un proceso exógeno. Un incremento repentino e inesperado de  $t_t$  implica un aumento en el número de bienes intermedios de la economía que genera, a su vez, mayor producción en el mediano plazo. Se asume que  $\psi_t$  depende tanto del número actual de productos en la economía, así como de las unidades de producción destinadas hacia el sector, mediante la siguiente ecuación:

$$\psi_t = \chi \left( \frac{N_t}{S_t} \right)^{1-\eta}$$

Siendo  $X$  un parámetro de escala y  $n$  la elasticidad de los nuevos bienes intermedios respecto al gasto en I+D, tal que  $n \in [0,1]$ . Finalmente, el sector generador de I+D es de libre entrada, por lo que se cumple la siguiente condición de arbitraje:

$$E_t[q_{t+1}V_{t+1}] = \frac{1}{\psi_t}$$

Donde  $V_t$  es el valor actual de los nuevos productos elaborados, que se define de la siguiente manera:

$$V_t = (v - 1)X_t + (1 - \phi_N)q_{t+1}V_{t+1}$$

Siendo  $X_t$  el agregado de bienes intermedios de la economía.

### 3.5 PROCESOS EXÓGENOS

Son tres los procesos exógenos presentes en el modelo: un choque doméstico de oferta, un choque externo y un choque de innovación tecnológica a nivel de productos. Estos se describen, respectivamente, en las siguientes tres ecuaciones:

$$A_t = \rho_A A_{t-1} + \epsilon_t^A$$

$$r_t^* = \rho_{r^*} r_{t-1}^* + \epsilon_t^{r^*}$$

$$\tau_t = \rho_\tau \tau_{t-1} + \epsilon_t^\tau$$

Donde  $\epsilon_t^A \sim N(0, \sigma_A^2)$ ,  $\epsilon_t^{r^*} \sim N(0, \sigma_{r^*}^2)$  y  $\epsilon_t^\tau \sim N(0, \sigma_\tau^2)$ .

### 3.6 CALIBRACIÓN

Para el caso del sector macroeconómico “tradicional”, se siguió la calibración de Ortiz y Wishart (2012)<sup>4</sup>. Para el sector I+D, se utilizó la calibración de Kung y Schmidt (2015)<sup>5</sup>, donde X es el parámetro de escala que se modifica para llegar a niveles de I+D como porcentaje del PBI observados en la realidad peruana<sup>6</sup>.

## 4. ANÁLISIS DE RESULTADOS

Una vez calibrado el modelo y obtenida su solución numérica, se realizaron algunos ejercicios que permitieron obtener conclusiones cuantitativas sobre la importancia macroeconómica de un sector innovador eficiente<sup>7</sup>. Principalmente, se analizó el modelo cuando se enfrentó a tres choques: un choque doméstico de oferta, un choque externo y un choque de innovación tecnológica. En resumen, un sector innovador eficiente:

Tiene un significativo impacto sobre las principales variables macroeconómicas en el mediano plazo.

Es amortiguador de choques negativos en el corto plazo.

A continuación, se plantea el análisis de los diversos choques que afectan el modelo, el mecanismo de transmisión inherente a cada uno de ellos y los resultados cuantitativos de los ejercicios que se interpolan al utilizar el ejemplo peruano. Es importante mencionar que los resultados se enfocan en la dinámica del PBI y se utilizan dos escenarios: (i) cuando el modelo no cuenta con un sector innovador a nivel de productos —es decir, un modelo a lo Aguiar y Gopinath (2007)— y (ii) cuando la economía sí posee un sector I+D. De esta manera se puede cuantificar la importancia macroeconómica del sector innovador a nivel de productos.

### 4.1 CHOQUE DOMÉSTICO DE OFERTA NEGATIVO

De acuerdo con la Figura 2, en términos cuantitativos, un sector I+D eficiente reduce el impacto inicial de un choque doméstico negativo sobre el PBI en torno a 20% respecto al caso en que no hay un sector I+D. Este diferencial se mantiene en promedio durante los próximos cinco (5) años después de haberse producido el mencionado choque.

---

4 Para mayor detalle ver Tabla 1 (Pg. 9) de Ortiz y Wishart (2012).

5 Para mayor detalle ver Tabla 1 (Pg. 35) del Apéndice A de Kung y Schmidt (2015).

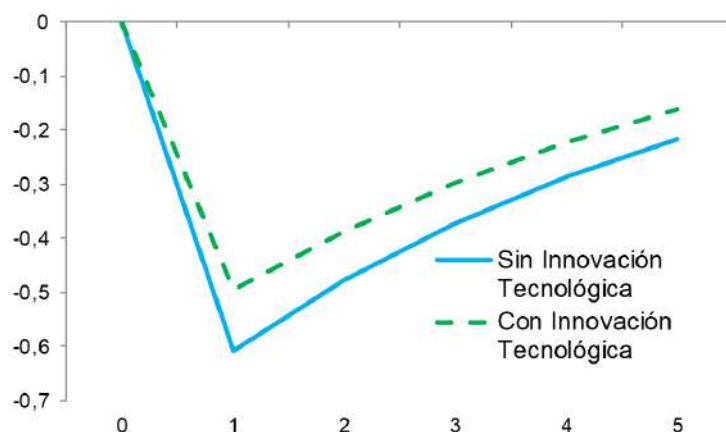
6 De acuerdo con el Banco Mundial, la inversión en investigación y desarrollo en el Perú equivale en torno a 0.2% de su PBI.

7 Un sector innovador es eficiente si todo lo que gasta sirve para producir nuevas variedades en la economía.

Este efecto numérico, generado por la presencia del sector de I+D, puede ser interpretado también en términos de efecto en las tasas de crecimiento del PBI. Tomemos como ejemplo un choque doméstico negativo, como un Fenómeno de El Niño de magnitud severa, que podría disminuir el crecimiento del PBI en 3 puntos porcentuales<sup>8</sup>. En este contexto, la presencia de un sector innovador eficiente reduce el impacto de los choques domésticos negativos en 0.6 puntos porcentuales<sup>9</sup>.

El mecanismo de transmisión sería la siguiente, un choque de este tipo disminuye la productividad de la economía directamente. Ello genera una recesión económica que se traduce en una caída en la demanda de los factores productivos, que son el trabajo y el capital físico. Esta menor demanda no sólo reduce la producción de bienes finales sino también la de bienes intermedios. La caída del capital físico se traduce en un incremento de su productividad marginal<sup>10</sup> y, por tanto, en una mayor rentabilidad de las innovaciones, lo que incentiva la entrada de más actores al sector generador de I+D. El número creciente de “innovadores” provoca, a su vez, un incremento en el número de nuevos productos que se introducen a la economía, lo que sirve como amortiguador del choque negativo inicial. En otras palabras, un sector innovador eficiente actúa como “escudo” de la economía ante una caída no esperada de la productividad agregada.

**Figura 2.**  
*Respuesta del PBI a un evento negativo*



Nota. eje de las abscisas se encuentra en años.

8 Ver, por ejemplo, el Marco Macroeconómico Multianual 2012-2014.

9 El cálculo es el siguiente:  $20\% \times 3$  puntos porcentuales = 0,6 puntos porcentuales.

10 Debido a que la función de producción utilizada tiene retornos decrecientes por cada factor y retornos constantes a escala.

## 4.2 CHOQUE EXTERNO NEGATIVO

En la Figura 3 se puede observar el rol amortiguador del sector I+D en la dinámica del PBI ante un choque externo negativo. Así, un sector I+D eficiente reduce el impacto inicial de un choque externo en 25% respecto al caso en que no hay un sector I+D.

Traduciendo este resultado cuantitativo a tasas de crecimiento del PBI, y tomando en cuenta lo observado durante la crisis financiera internacional, si el sector de generación de I+D peruano fuera eficiente, el crecimiento económico en el año 2009 (año en el que ocurrió un choque externo negativo) no hubiese sido de 1.1% sino alrededor de 3.1%<sup>11</sup>.

Esto quiere decir que un sector de innovación a nivel de producto reduce el efecto de un choque externo negativo sobre el crecimiento económico en 2 puntos porcentuales respecto al caso en que no hay un sector I+D. Sin embargo, es importante resaltar que el efecto amortiguador solo se da en el año uno luego de haberse dado el choque externo negativo.

El mecanismo de transmisión sería la siguiente, un choque de este tipo se explica mediante el incremento inesperado del diferencial de tasas de interés  $(r_t^k - r_t^*)$ <sup>12</sup>, lo que genera una apreciación cambiaria real que reduce las exportaciones y, con ello, el PBI.

Ante la menor dinámica económica nacional y el abaratamiento relativo del crédito externo los productores empiezan a demandar mayor financiamiento en la economía foránea para sus operaciones. La posibilidad de obtener financiamiento internacional incrementa la rentabilidad esperada de las innovaciones a nivel de producto, aumentando el número de participantes en el sector I+D eficiente y generando con ello un mayor número de variedades de productos en la economía. En otras palabras, se produce una especie de “migración” productiva desde el sector orientado al mercado externo hacia el sector generador de I+D, dado el incremento del costo de financiamiento doméstico.

El punto importante es que el traslado de los recursos productivos hacia el sector innovador incrementa las posibilidades de introducir nuevos pro-

---

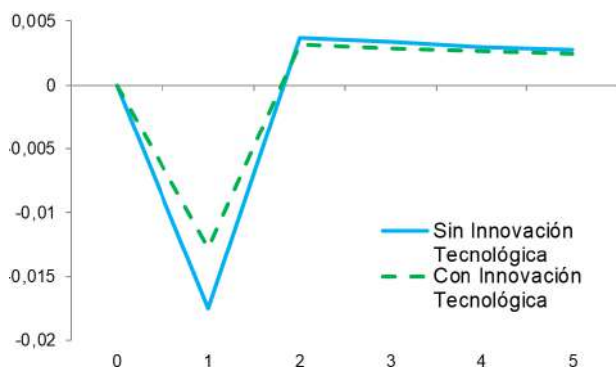
11 La Crisis Financiera Internacional desaceleró la economía peruana de manera significativa, llevando a que se pase de un crecimiento de 9,1% en 2008 a 1,1% en el 2009. Así la desaceleración fue de -8 puntos porcentuales. De tener un sector I+D eficiente significaría que esa desaceleración sea del 25% menos, es decir, de 2 puntos porcentuales menos (25%\*-8 puntos porcentuales).

12 Donde  $r_t^k = R_t^k - \delta$ .

ductos en esta economía. Este efecto también actúa como escudo macroeconómico ante un choque externo negativo.

**Figura 3.**

*Respuesta del PBI a un evento negativo externo*



Nota. eje de las abscisas se encuentra en años.

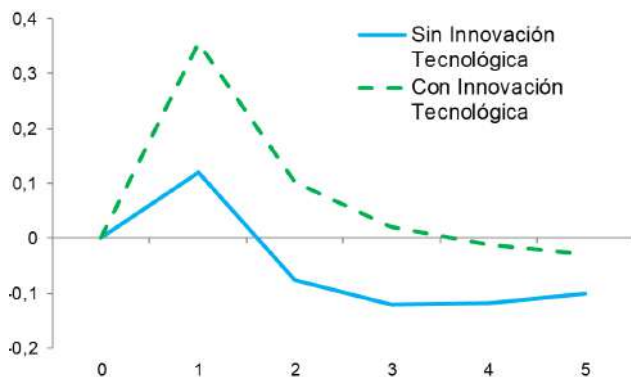
## 4.2 CHOQUE DE INNOVACIÓN TECNOLÓGICA

Un choque de este tipo se traduce en un incremento repentino en el número de variedades de la economía, lo que dinamiza el crecimiento económico. Una mayor producción implica, a la vez, la posibilidad de un mayor gasto en I+D, lo que incentiva la entrada de nuevos participantes al sector generador de I+D, generando con ello un círculo virtuoso en la producción económica.

En términos numéricos, un sector I+D eficiente incrementa el impacto positivo inicial de la innovación a nivel de productos. Por un aumento del 1% en la innovación (más variedades en la economía), el crecimiento del PIB aumenta 0.35 puntos porcentuales más con un sector I+D eficiente, el crecimiento del empleo lo hace en 0.20 puntos porcentuales más y el crecimiento de la productividad de la economía en 0.90 puntos porcentuales más. Asimismo, es importante destacar que, en una economía con un sector innovador eficiente, el impacto persiste incluso hasta tres (3) años luego de haberse dado el choque, escenario que no se observa en una economía que no tiene un sector I+D.

**Figura 4.**

*Respuesta del PBI a un incremento en la innovación tecnológica a nivel de productos*



Nota. eje de las abscisas se encuentra en años.

## 5. CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES

De acuerdo con lo mostrado líneas arriba, y teniendo en cuenta la naturaleza de los choques simulados, se concluye que la importancia cuantitativa macroeconómica de un sector generador de I+D eficiente a nivel de productos se explica por su rol: (i) amortiguador de choques negativos (internos y externos) sobre la economía nacional, y (ii) amplificador de la dinámica de las variables macroeconómicas ante políticas de innovación tecnológica a nivel de productos.

Así, el sector I+D logra reducir el impacto inicial sobre el crecimiento económico de un choque interno negativo en 0.6 puntos porcentuales y de un choque externo negativo en 2 puntos porcentuales en comparación a una economía sin sector I+D. Asimismo, en una economía con un sector I+D eficiente, un aumento del 1 por ciento en la innovación a nivel de productos (más variedades de productos en la economía) genera un mayor crecimiento del Producto Bruto Interno (PBI) en 0.35 puntos porcentuales, un incremento en el crecimiento del empleo en 0.20 puntos porcentuales y un aumento en el crecimiento de la productividad de la economía en 0.90 puntos porcentuales.

Dados los resultados, se recomienda impulsar la inversión en I+D porque no solo permite generar mayor crecimiento económico de mediano y largo plazo, sino también atenuar los efectos negativos de distintos choques que enfrenta

una economía (internos y externos). En este sentido, en un escenario de elevada incertidumbre y con fuerte desaceleración del crecimiento potencial de la economía, es clave generar las condiciones necesarias para que el sector privado tenga los incentivos invertir en mayor magnitud en investigación y desarrollo.

Como agenda de investigación, en términos de modelamiento macroeconómico, el modelo propuesto en esta investigación todavía puede extenderse en línea con el desarrollo de la literatura sobre el tema. En ese sentido, se puede incluir no sólo un bloque generador de I+D sino también un sector adaptador del mismo que permita agregar mayor persistencia a las variables ante choques exógenos; inclusive se puede ampliar el modelo hacia uno de estilo neokeynesiano, incorporando fricciones nominales y endogenizando la productividad total de factores.

Asimismo, sería importante incorporar política fiscal dentro del modelo propuesto para poder estudiar el rol que desempeñan las políticas gubernamentales en la promoción de la inversión en I+D y en la mitigación de las fluctuaciones macroeconómicas. Así, podría estudiarse en mayor detalle el impacto de incentivos fiscales, subsidios y regulaciones efectivas y cómo estas pueden influir en el comportamiento de las empresas y en la dirección de la inversión en investigación y desarrollo en la economía.



## 6. REFERENCIAS

- Aghion, P., Howitt, P., Brant-Collett, M., & García-Peñalosa, C. (1998). *Endogenous growth theory*. MIT press.
- Aguiar, M., & Gopinath, G. (2007). Emerging market business cycles: The cycle is the trend. *Journal of political Economy*, 115(1), 69-102.  
<https://www.journals.uchicago.edu/doi/abs/10.1086/511283>
- Anzoategui, D., Comin, D., Gertler, M., & Martinez, J. (2019). Endogenous technology adoption and R&D as sources of business cycle persistence. *American Economic Journal: Macroeconomics*, 11(3), 67-110. <https://doi.org/10.1257/mac.20170269>
- Barlevy, G. (2007). On the cyclicity of research and development. *American Economic Review*, 97(4), 1131-1164. <https://doi.org/10.1257/aer.97.4.1131>
- Bianchi, F., Kung, H., & Morales, G. (2019). Growth, slowdowns, and recoveries. *Journal of Monetary Economics*, 101, 47-63.  
<https://doi.org/10.1016/j.jmoneco.2018.07.001>
- Christensen, M. A. (2015). The Economic Impact of Increasing Public Support to ICT R&D: A Modelling Approach. *Research Papers in Economics*, (JRC97907).  
<https://doi.org/10.2791/94496>
- Comin, D., & Gertler, M. (2006). Medium-term business cycles. *American Economic Review*, 96(3), 523-551. <https://doi.org/10.1257/aer.96.3.523>
- Comin, D. A., Gertler, M., & Santacreu, A. M. (2009). *Technology innovation and diffusion as sources of output and asset price fluctuations* (No. w15029). National Bureau of Economic Research. <https://www.nber.org/papers/w15029>
- Hafeez, A., Syed, K. B. S., & Qureshi, F. (2019). Exploring the Relationship between Government R & D Expenditures and Economic Growth in a Global Perspective: A PMG Estimation Approach. *International Business Research*, 12(4), 163-174.  
<https://doi.org/10.5539/ibr.v12n4p163>
- Hasumi, R., Iiboshi, H., & Nakamura, D. (2017). R&D Growth and Business Cycles Measured with an Endogenous Growth DSGE Model. MPRA, (85525).  
<https://mpra.ub.uni-muenchen.de/85525/>
- King, R. G., & Rebelo, S. T. (1999). Resuscitating real business cycles. *Handbook of macroeconomics*, 1, 927-1007. [https://doi.org/10.1016/S1574-0048\(99\)10022-3](https://doi.org/10.1016/S1574-0048(99)10022-3)
- Kung, H., & Schmid, L. (2015). Innovation, growth, and asset prices. *The Journal of Finance*, 70(3), 1001-1037. <https://doi.org/10.1111/jofi.12241>

- Kydland, F. E., & Prescott, E. C. (1982). Time to build and aggregate fluctuations. *Econometrica: Journal of the Econometric Society*, 50(6), 1345-1370. <https://doi.org/10.2307/1913386>
- Long Jr, J. B., & Plosser, C. I. (1983). Real business cycles. *Journal of political Economy*, 91(1), 39-69. <https://doi.org/10.1086/261128>
- Mendoza, E. G. (1991). Real business cycles in a small open economy. *The American Economic Review*, 81(4), 797-818. <https://www.jstor.org/stable/2006643>
- Ortiz, A., & Wishart, J. (2012). Trend Shocks and Financial Frictions in Small Open Economies Modeling (No. 5). CEMLA. <https://econpapers.repec.org/paper/cmldocinv/5.htm>
- Pouraghaei, N. (2016). Testing a DSGE endogenous growth model of R&D via indirect inference: productivity growth in a panel of OECD [Thesis to obtain the degree of Doctor of Philosophy]. Cardiff University. Cardiff Business School. Economics Section. <https://orca.cardiff.ac.uk/id/eprint/100707>