

**UNIVERSIDAD DE CHILE**

Facultad de Economía y Negocios

**ESCUELA DE POSTGRADO, ECONOMIA Y NEGOCIOS**

# **“Investigación y Desarrollo: Impacto sobre Productividad y Determinantes”**

**Tesis para optar al grado de  
Magister en Economía**

**Alumno: Álvaro García Marín**

**Santiago, octubre de 2007**

# Agradecimientos

El presente trabajo se nutrió de los comentarios y sugerencias de un importante número de personas. En primer lugar, se agradece a Claudio Bravo-Ortega, quien fue el guía de este proyecto de tesis. A él se debe parte de la motivación de este estudio. Claudio, junto con José Miguel Benavente y Roberto Álvarez –los otros dos miembros de la comisión ante la cual se defendió este proyecto– proporcionaron valiosos comentarios que de una u otra forma se vieron plasmados a lo largo de este trabajo. Se agradece profundamente los comentarios y el apoyo incondicional de Bárbara López durante el tiempo en el que se desarrolló este estudio. Se agradece también los comentarios de los participantes del seminario interno del Banco Central de Chile y del encuentro anual de la Sociedad de Economistas de Chile del año 2007, en especial los de Rómulo Chumacero, Igal Magendzo y Patricio Jaramillo. Mauricio Calani proporcionó interesantes puntos de vista que espero poder plasmarlos en trabajo futuro. Por último, se agradece a Daniel Lederman y a Bill Maloney por proveer la base que se utilizó para realizar parte de este proyecto.

# Introducción

La importancia del sector de investigación y desarrollo (I+D) como motor de crecimiento y fuente de prosperidad económica ha sido reconocida en las dos últimas décadas en los modelos de crecimiento basados en ideas, los cuales enfatizan la relevancia del cambio tecnológico en el proceso de desarrollo (ver, por ejemplo Romer, 1990, Rivera-Batiz y Romer, 1991, y Aghion y Howitt, 1992). En estos modelos, la conexión entre crecimiento e I+D es provista generalmente por una ecuación que relaciona los recursos disponibles en este sector con el crecimiento de la productividad total de factores (PTF).

Teóricamente, el impacto del sector de I+D sobre productividad podría producirse por medio de distintos canales. En primer lugar, permite producir nuevos bienes y servicios que llevan a un uso más efectivo de los recursos existentes. Segundo, permite asimilar de una forma más rápida los beneficios de avances tecnológicos originados en otras partes del mundo a las realidades locales. Tercero, en un mundo con inversión extranjera directa y comercio internacional de bienes y servicios, las actividades de I+D incrementarían además la productividad de otros países por medio del aprendizaje incorporado en las nuevas tecnologías y procesos productivos, y de la importación de bienes y servicios con tecnología incorporada (Coe y Helpman 1995).

La relación positiva entre gasto en I+D y productividad ha sido confirmada empíricamente desde distintas perspectivas. La literatura que estudia tasas de retorno coincide en que las actividades de investigación y desarrollo tendrían asociadas altos beneficios, los cuales equivaldrían a varias veces el retorno de la inversión en capital físico.<sup>1</sup> El sector de I+D generaría además importantes externalidades positivas, lo cual estaría fundamentado en tasas de retorno sociales que serían sustancialmente mayores a nivel de países que para empresas particulares. En efecto, la Comisión de Industrias de Australia (1995) calcula que la razón entre retornos nacionales (privados más *spillovers* totales) e industriales encontrada en los estudios sería cercana a 2.5 veces en promedio. Considerando que la tasa de retorno privada a nivel de industrias en economías industrializadas es en promedio 30 % (Weiser 2001), las tasas de retornos sociales de la inversión

---

<sup>1</sup>Para completas revisiones de tasas de retornos a las actividades de I+D, ver Mairesse y Sassenoe (1991) y Weiser (2001). Estimaciones para Latinoamérica pueden encontrarse en Lederman y Maloney (2003) y en Benavente, De Gregorio, y Nuñez (2006).

en I+D podrían alcanzar 75 %. Adicionalmente, en un mundo con comercio internacional de bienes y servicios, inversión extranjera directa y difusión de conocimiento, las actividades de I+D no sólo incrementarían la productividad propia, sino que además la de los otros países. Este último hecho es considerado por Coe y Helpman (1995), quienes incorporan explícitamente el efecto de la I+D de otros países sobre la economía doméstica, encontrando tasas de retorno sociales a la inversión en I+D igual a 123 % para los países G7. Van-Pottelsberghe y Lichtenberg (2001) y Bitzer y Kerekes (2005) consideran además *spillovers* relacionados con la difusión de conocimiento entre países incorporados en la inversión extranjera directa, encontrando que los *spillovers* implican un exceso de retorno por sobre las estimaciones que no consideran estos *spillovers* cercano a 65 % en los G7.

Desde un punto de vista cualitativo, múltiples autores han otorgado también al sector de I+D un rol preponderante en el exitoso proceso de desarrollo productivo de países como Corea del Sur, Israel y los escandinavos. Kim (1997) y Lim (1999), por ejemplo, atribuyen un papel fundamental al desarrollo tecnológico en el espectacular proceso de convergencia experimentado por Corea del Sur desde fines de 1960 y que le significó saltar desde un ingreso per capita apenas superior al de Bolivia en 1970 a más de US\$15.000 per capita en el año 2000, con tasas de crecimiento cercanas al 8 % anual. Breznitz (2006) y Trajtenberg (2000) por su parte, describen el importante papel del sistema de innovación en Israel en la adquisición de ventajas comparativas en el sector de tecnologías de información. Dahlman, Routti, y Ylä-Anttila (2006) por último, identifican al sector de innovación y desarrollo como clave en la transformación de Finlandia en una de las naciones más competitivas del mundo.

La evidencia anterior sugiere que el sector de I+D poseería un importante potencial para afectar la capacidad productiva de los países. A pesar de que algunos autores desprecien el rol de la productividad en el cierre de las brechas de ingreso y crecimiento entre los países<sup>2</sup>, lo cierto es que es que ante la evidencia disponible, sería difícil no considerar al desarrollo de la productividad por medio de I+D como una importante fuente adicional de crecimiento. En efecto, una importante cantidad de estudios (ver Klenow y Rodríguez-Claire, 1997, Hall y Jones, 1999, Easterly y Levine, 2002 o Bosworth y Collins, 2003) concuerdan en que las diferencias de productividad entre países darían cuenta de al menos la mitad de las diferencias de producto por trabajador y crecimiento. Incluso uno de los estudio más desfavorables para la PTF (Mankiw, Romer, y Weil, 1992), le atribuye una contribución de aproximadamente 20 % de la variación del ingre-

---

<sup>2</sup>Mankiw, Romer, y Weil (1992) proporciona evidencia de corte transversal para un amplio número de países. En los estudios de Young (1995) y De Gregorio (2006) es posible encontrar evidencia que muestran que el factor más relevante en el acortamiento de la brecha de ingreso per capita de los tigres asiáticos con respecto a Estados Unidos fue la inversión en capital físico, y no el incremento de la PTF. Sin embargo, De Gregorio (2006) reconoce en su estudio que las diferencias de productividades serían el principal factor en explicar las diferencias de ingreso per capita entre Estados Unidos y Latinoamérica.

so entre países. Considerando estos resultados, es difícil no concordar con Jones (1997), según quien: “[...] *a better answer [to the relative importance of productivity], I think, is that both traditional inputs and productivity play large and important roles.*”<sup>3</sup>

Pese al aparente consenso en torno a los altos beneficios que tendría en términos de productividad el desarrollo del sector de I+D, una parte importante de la literatura no ha reparado en el potencial problema de simultaneidad y causalidad reversa existente entre ambas variables. Considerando la fuerte relación del gasto en I+D y de la productividad con el ingreso de los países (Lederman y Maloney 2003), sería posible que los altos coeficientes encontrados en la literatura correspondieran en parte a respuestas positivas del I+D ante shocks de demanda, en lugar de una influencia del I+D sobre la productividad.

El primer capítulo de este estudio se centra en profundizar la relación entre investigación y desarrollo y productividad a nivel de países, estudiando la precedencia estadística entre gasto en I+D y productividad en un panel de 65 países para el período 1960-2000. En este capítulo se evalúa además la robustez de la relación descrita entre I+D y PTF al considerar la acción de otros factores que determinarían a la PTF. Los resultados sugieren en la mayor parte de los casos que la causalidad iría desde I+D a PTF, mientras que el impacto del I+D sería además relativamente robusto a la inclusión de controles como apertura, profundidad financiera y estabilidad macroeconómica.

Los países que poseen hoy altas tasas de inversión en I+D a lo largo del mundo han seguido distintos caminos. Corea del Sur y el resto de los tigres asiáticos, por ejemplo, fueron apoyados en su proceso de desarrollo tecnológico por un Estado planificador. Israel, Estados Unidos y los países escandinavos, en cambio, optaron por solucionar las fallas de mercado inherentes al proceso innovativo para fomentar innovación entre sectores. No obstante lo anterior, en todos los casos el proceso de desarrollo tecnológico parece haberse basado en una sólida plataforma de capital humano y financiamiento para los innovadores. Adicionalmente, las políticas que fomentaron la demanda han sido citadas como claves en el desarrollo de tecnología. Considerando estas disímiles experiencias, surgen un importante número de preguntas, entre ellas: ¿Hasta que punto condiciones como nivel educativo, profundidad financiera, volatilidad de las economías y protección de los derechos de propiedad condiciona el gasto en I+D de los países? ¿Invierten los países ricos proporcionalmente más que los países pobres en este tipo de actividades? ¿Hasta que punto la apertura y la transferencia de tecnología extranjera incorporada afecta la inversión en I+D observada? ¿La inversión en I+D es complemento, sustituto o no se encuentra relacionado con factores como trabajo, inversión y gasto de gobierno?

El segundo capítulo de este estudio busca entregar una respuesta a las preguntas del párrafo anterior. Utilizando datos a nivel de países para el período 1960-2000 se in-

---

<sup>3</sup>Esta cita fue recalcada anteriormente por Bosworth y Collins (2003).

investigan las características de los países que más han desarrollado el sector de I+D en las últimas décadas. Los resultados indican que el nivel de ingreso de las economías sería el factor más importante para explicar las diferencias de gasto en I+D. Uno de los resultados más interesantes de este capítulo es la relación entre participación del gobierno en el sector de I+D con los recursos destinados en este sector. Se encuentra un umbral de ingreso per capita por sobre el cual una mayor participación del gobierno se encontraría relacionado negativamente al gasto en I+D.

Otros factores, como derechos de propiedad, escolaridad o desarrollo de los mercados financieros, igualmente aportarían información para explicar el gasto en investigación y desarrollo observado, aunque se debe precisar que en general la magnitud y significancia de estas variables es menor que la del ingreso y de la participación del gobierno. Por último, la apertura, la inversión extranjera directa, los *royalties* pagados y la inversión en capital físico, la fuerza laboral y la volatilidad del crecimiento no parecen estar correlacionados en forma significativa con el gasto en I+D.

# Capítulo 1:

## Profundizando en la relación entre I+D y Productividad

¿Puede el gasto en investigación y desarrollo (I+D) ayudar a predecir mayor productividad futura? ¿Varía la magnitud o significancia del impacto del gasto en investigación y desarrollo sobre productividad al condicionar sobre otras variables? La respuesta a estas preguntas es de relevancia, por razones que a continuación se detallan.

La primera de las preguntas se relaciona con el problema de simultaneidad y causalidad reversa entre las variables de gasto en I+D y productividad, descrito en la introducción. Por un lado, mayor cantidad de recursos debería hacer más probable la ocurrencia de cambio tecnológico, lo cual a su vez afectaría a productividad<sup>4</sup>. Sin embargo, debido a la alta pro-ciclicidad de ambas variables, es probable que tanto el gasto en I+D como la productividad muestren respuestas similares ante *shocks* de demanda sin que exista necesariamente una relación entre ellos. Incluso la relación estadística podría ir desde productividad hacia gasto en I+D si es que esta última variable mostrase una respuesta positiva ante cambios esperados en la demanda (Frantzen 2003). El problema de simultaneidad es ilustrado por Zvi Griliches del siguiente modo: “[...] *If research & development is chosen on the basis of economic incentives, it is unlikely to be fully independent of the shocks and errors which affect the production relations we are trying to estimate*”<sup>5</sup>.

La escasa evidencia relacionada con la causalidad estadística entre el gasto en I+D y productividad consiste en algunos estudios realizados a nivel de empresas e industrias. Rouvinen (2002), Frantzen (2003) y Zachariadis (2004), han estudiado con pequeñas diferencias metodológicas las relaciones de causalidad a nivel de industrias en países OECD. Lu, Chen, y Wang (2006), por su parte, han hecho lo propio en un conjunto de empresas electrónicas en Taiwán. En general, los resultados indican que, la causalidad estadística iría principalmente desde las variables de I+D hacia PTF, y no en la dirección contraria.

---

<sup>4</sup>Esto es una consecuencia directa de modelos de crecimiento endógeno como Romer (1990)

<sup>5</sup>Griliches (1998) pp.273.

La importancia de realizar estudios a nivel de países radica en que a este nivel se incorporan las externalidades que surgirían de la actividad innovativa generada en empresas o industrias particulares y que podrían estar siendo capturadas por unidades de negocios ubicadas en el resto de la economía. Adicionalmente, considerando que las diferencias de productividad total de factores explicarían una importante parte de las diferencias de ingreso y crecimiento del producto de los países, establecer los factores que la afectan puede dar una idea de la trayectorias futuras de crecimiento de los países (ver Klenow y Rodríguez-Claire, 1997; Hall y Jones, 1999; Easterly y Levine, 2002 o Bosworth y Collins, 2003). En este sentido la evidencia encontrada sugiere un importante rol del sector de investigación y desarrollo como motor de productividad.

Una vez considerado el problema de simultaneidad, se estudia si el impacto del sector de I+D sobre productividad permanece una vez que se considera la acción de otras variables sindicadas en la literatura como determinantes de la productividad total de factores. Entre los factores contrastados se encuentra variables de apertura comercial y financiera, inestabilidad macroeconómica así como de desarrollo de los mercados financieros.

En el estudio de los temas planteados se utiliza un panel desbalanceado de un máximo de 65 países para el período 1960-2000, el cual incluye tanto economías desarrolladas como en vías de desarrollo. Todas las estimaciones se realizan mediante GMM de sistemas, consistente en contextos de paneles dinámicos y en presencia variables endógenas, por su capacidad de lidiar con efectos fijos. El estudio de causalidad, en particular, considera un enfoque ampliamente utilizado en la literatura, el cual integra el trabajo de causalidad estadística de Granger (1969), con los de Holtz-Eakin, Newey, y Rosen (1988) de vectores autoregresivos en paneles, y los de Arellano y Bond (1991) y Blundell y Bond (1998) de estimadores GMM consistentes en paneles dinámicos.

El resto del capítulo se estructura de la siguiente forma. En la sección 1.1 se presenta un modelo simple que muestra la intuición de los modelos utilizados tradicionalmente en la literatura para estudiar el impacto del gasto en I+D sobre productividad. Además, en esta sección se describe el concepto de causalidad según Granger, así como el método de estimación utilizado. Posteriormente en la sección 1.2 se muestran las fuentes de datos y las variables utilizadas en las estimaciones. La sección 1.3 presenta los resultados de los contrastes de causalidad, así como de las estimaciones que determinan el impacto incondicional y condicional del gasto en I+D sobre productividad. Por último, en la sección 1.4 se presenta un resumen de los principales hallazgos.

# 1.1 Metodología Empírica

## 1.1.1 Un modelo simple

El modelo básico supone que las posibilidades de producción de la economía están descritas por una función Cobb-Douglas, en el que el *stock* de conocimiento es incorporado explícitamente como un factor productivo adicional al capital físico y al trabajo<sup>6</sup>:

$$Q_{it} = e^{\mu} e^{\eta_i} e^{\zeta_t} K_{it}^{\beta_K} C_{it}^{\beta_C} L_{it}^{\beta_L} \quad (1)$$

donde  $K$ ,  $C$  y  $L$  representan al *stock* de conocimiento de la economía, al *stock* de capital físico y la fuerza laboral respectivamente, pudiendo presentar la función de producción retornos crecientes a escala globales ( $\beta_K + \beta_C + \beta_L > 1$ ). Los subíndices  $i$  y  $t$  son indicadores de individuos y tiempo, permitiendo que la relación descrita en (1) se cumpla para un panel de individuos.  $\eta_i$  y  $\zeta_t$  representan efectos fijos invariantes en el tiempo y entre individuos respectivamente.

A partir de la ecuación (1), aplicando logaritmos es posible definir una relación entre PTF y *stock* de conocimiento, donde se ha incluido a  $\nu_{it}$  como un término de error variante en el tiempo y entre individuos:

$$\ln(PTF)_{it} = \mu + \beta_K \ln K_{it} + \eta_i + \zeta_t + \nu_{it} \quad (2)$$

$$\text{con } \ln(PTF)_{it} = \ln(Q)_{it} - \beta_C \ln(C)_{it} - \beta_L \ln(L)_{it} \quad (3)$$

El principal inconveniente de estimar una especificación de la forma de (2) es que el *stock* de conocimiento no es observable. A pesar de que es posible construir el *stock* de conocimiento para cada momento del tiempo utilizando el método de inventarios perpetuos<sup>7</sup>, cabe señalar que con este método los *stocks* resultantes a menudo son tremendamente sensibles al nivel de capital inicial y a la depreciación del stock de conocimiento supuesto. Una primera opción consiste en trabajar con especificaciones alternativas de (2) expresándola en términos de flujos y en diferencias con respecto al tiempo<sup>8</sup>:

$$\Delta \ln(PTF)_{it} = r^R (R/Q)_{it} + \eta_i + \zeta_t + \nu_{it} \quad (4)$$

---

<sup>6</sup>Gran parte de la literatura que estudia la contribución de la I+D al desarrollo económico ha considerado especificaciones similares a (1). Hasta donde llega el conocimiento de este estudio, el trabajo de Griliches (1979) fue el primero que propuso incorporar el rol de sector de I+D en la función de producción de la economía.

<sup>7</sup>El método de inventarios perpetuos construye el *stock* de conocimiento ( $S$ ) haciendo uso de la fórmula recursiva  $S_{t+1} = Flujo_t + (1 - \delta)S_t$ , donde el *stock* inicial puede obtenerse como  $S_{inicial} = Flujo_t / (1 - \delta)$ .

<sup>8</sup>Teniendo en cuenta que  $\Delta \ln(X) = \Delta X / X$ , y que el parámetro  $\beta_i$  corresponde a la elasticidad

donde  $r_R$  corresponden a la tasa de retorno de I+D,  $R/Q$  es la intensidad de I+D como porcentaje del PIB y  $\Delta \ln L$  representa la tasa de crecimiento del empleo. La ecuación (4) ha sido ampliamente utilizada en el estudio de la tasa de retorno al gasto en I+D.

Alternativamente, y sin pérdida de generalidad, es posible asumir que el *stock* de conocimiento puede ser expresados como un promedio ponderado de los gastos en I+D pasados  $\ln(K_{it}) = \sum_{k=0}^n \gamma_{(t-k)} \ln(R_{i(t-k)})$ , con lo que podemos re-expresar la ecuación (2) como:

$$\begin{aligned} \ln(PTF)_{i,t} = & \mu + \beta_{PTF} \ln(PTF)_{i,t-1} + \sum_{k=0}^m \beta_{R(t-k)} \ln(R)_{i,t-k} \\ & + \beta_X \ln(X)_{i,t} + \eta_i + \zeta_t + \nu_{i,t} \end{aligned} \quad (5)$$

donde  $\beta_{R(t-k)} = \beta_k \times \gamma_{R(t-k)}$  y donde se ha agregado un rezago de la variable dependiente para permitir que el producto se ajuste con rezago en respuesta a un *shock*. Por último, se ha incluido al vector  $X_{it}$  con el objetivo de considerar el efecto de otros factores que podrían afectar a la productividad total de factores.

La ecuación (5) muestra en forma explícita la relación que existiría entre el logaritmo de la productividad total de factores y el logaritmo de las inversiones agregadas en I+D, tanto en el presente como en el pasado. Trabajar con esta especificación tiene la ventaja de que es fácilmente estimable, además de que permite que el *stock* de conocimiento se acumule a través de la inversión en I+D de alguna forma, sin tener que asumir una tasa de depreciación *ex-ante*<sup>9</sup>. Sin embargo, es importante recalcar que esta condición obvia los posibles *feed-backs* desde PTF hacia gasto en I+D, por lo que no es posible obtener una idea de la dirección o causalidad entre estas variables a partir de ella. Una correcta interpretación de la relevancia de los coeficientes estimados en la ecuación (5) para el gasto en I+D requiere evaluar la posible existencia y magnitud de estos *feed-backs*.

Para responder la cuestión de la direccionalidad de la relación entre I+D y PTF se emplea el concepto de causalidad en el sentido de Granger. La causalidad en el sentido de Granger equivale a un concepto de precedencia estadística y no necesariamente implica una relación de causalidad económica. A pesar de ello, confirmar la existencia de este tipo de causalidad desde I+D a PTF, indicaría que los países que más han invertido en el pasado son también los que más han visto crecer su productividad

---

entre el producto y la variable  $i$ , se tiene que

$$\beta \Delta \ln X = \frac{\partial Q}{\partial X} \frac{X}{Q} \frac{\Delta X}{X} = r^X \frac{\Delta X}{Q}$$

<sup>9</sup>La expresión (4) a menudo es estimada haciendo uso del gasto en I+D corriente en lugar del neto, lo cual implica asumir una tasa de depreciación igual a cero

posteriormente, lo cual podría ser interpretado como evidencia de una posible relación económica.

Un último punto se relaciona con la elección de las variables  $X$  a ser incorporadas en la ecuación (5). Saber que otros factores deberían ser incluidos como variables explicativas de la productividad total de factores no es una cuestión sencilla. Una importante parte de los trabajos que han estudiado los determinantes de la productividad de los países se han basado en la literatura de regresiones de crecimiento impulsada por Barro (1991), en la cual se agregan tantos regresores como variables se crea pueden estar correlacionados con la variable de interés (en el caso de la literatura de crecimiento, crecimiento del producto; en este caso, productividad total de factores). A pesar de que la metodología seguida en esta literatura ha sido criticada especialmente por el sobreajuste (*overfitting*) de los datos, en este trabajo se sigue un enfoque similar debido a que el objetivo principal no consiste en proveer de una historia completa en torno a los factores que determinan a la productividad, sino que sólo se desea contrastar la significancia de la correlación entre I+D y PTF al controlar por otras variables.

La evidencia disponible indica que variables tales como términos de intercambio, desalineamientos del tipo de cambio real o calidad de instituciones se encontrarían correlacionadas con la PTF<sup>10</sup>. Sin embargo, en este estudio las anteriores variables no pudieron ser consideradas debido a que no se encuentran disponibles para un número importante de países para el período analizado. Además, debido a que la mayor parte de la variación de las variables de democracia y de instituciones es de corte transversal, podemos asumir que es posible capturar gran parte de su impacto por medio de los efectos individuales fijos en el tiempo por países. La atención se centra en cambio en el rol de otros factores para los cuales la literatura ha encontrado una relación significativa con la PTF, y que se encontrarían disponibles además de forma amplia para las distintas economías:<sup>11</sup>

- **Apertura comercial:** Esta variable debería afectar a las ganancias de productividad relacionadas con la absorción e imitación de las innovaciones generadas en las economías más avanzadas (Edwards 1998). El flujo de tecnología incorporada en bienes y servicios, a su vez permitiría aumentar la eficiencia productiva de los países. Edwards (1998), Frankel y Romer (1999), Miller y Upadhyay (2000) y Alcalá y Ciccone (2004) muestran, con algunas diferencias metodológicas, una fuerte relación positiva entre apertura y/o comercio con productividad.<sup>12</sup> En este

---

<sup>10</sup>Evidencia del link entre estas variables y productividad puede encontrarse en Edwards (1998), Alcalá y Ciccone (2004) y Fuentes, Larraín, y Schmidt-Hebbel (2006)

<sup>11</sup>En el apéndice se presenta la definición de las variables utilizadas

<sup>12</sup>Rodriguez y Rodrik (2001), por el contrario, muestran que la relación positiva entre comercio y crecimiento no sería tan fuerte al corregir por otras definiciones de apertura, o con elecciones metodológicas menos “cuestionables”. Al incluir apertura comercial como un determinante de la productividad total de los factores en este trabajo, implícitamente se está concordando con la interpretación de Jones (2001), quien argumenta que el hecho que Rodriguez y Rodrik (2001) cuestionen

estudio se utiliza como indicador de apertura comercial a la suma de importaciones más exportaciones como proporción del producto. La principal ventaja de esta variable, es su amplia disponibilidad entre países en el tiempo.<sup>13</sup>

- **Inversión extranjera directa (IED):** En países en desarrollo, la IED -expresada por el establecimiento de corporaciones multinacionales que poseerían tecnología superior a las empresas domésticas- podría ser un mecanismo para absorber la tecnología superior producida en las economías industrializadas, cercanas a la frontera tecnológica. Suponiendo que las empresas multinacionales fueran en promedio más productivas que las empresas domésticas, entonces sería posible que estas últimas aprendieran de las corporaciones multinacionales. En forma especial para el caso de los países en desarrollo, la productividad agregada aumentaría debido a dos efectos simultáneos: por un lado ingresan empresas más productivas que el promedio, mientras que las empresas establecidas aumentarían gradualmente su eficiencia productiva al absorber las nuevas técnicas productivas. Borensztein, De Gregorio, y Lee (1998) encuentran efectos beneficiosos sobre el crecimiento de las economías de los flujos de inversión extranjera directa. Dichos autores muestran que este impacto vendría dado por una mayor eficiencia, lo cual sugiere la posibilidad de un impacto positivo de la IED sobre la PTF.
- **Desarrollo de los mercados financieros:** El desarrollo de los mercados financieros afectaría a la productividad total de los factores y al crecimiento de las economías aumentando la probabilidad de que buenos proyectos productivos sean financiados. En la medida de que una masa importante de buenos proyectos que anteriormente no se realizaban sean llevados a cabo, la eficiencia agregada de la economía debería aumentar.<sup>14</sup> Por lo tanto, se espera una relación positiva entre esta variable y la PTF.

Siguiendo el trabajo de King y Levine (1993), se consideran tres variables que miden el desarrollo de los mercados financieros: (i) tamaño del sector de intermediarios financieros formales relativo a la actividad económica, (ii) importancia relativa de las instituciones financieras específicas y (iii) proporción de los créditos asignados a privados en relación a la actividad económica (en el apéndice A

---

las elecciones metodológicas no implica que la relación positiva entre apertura comercial y productividad no exista.

<sup>13</sup>Pese a que parece razonable esperar que los movimientos de esta variable refleje una mayor apertura, en la práctica un alto comercio perfectamente podría coexistir con políticas que no promueven apertura comercial. Es así como países con un alto valor de esta variable podrían perfectamente tener barreras arancelarias y no arancelarias mayores que otros países con menores valores de esta variable.

<sup>14</sup>Para modelos que muestran la relación positiva entre desarrollo de los mercados financieros y crecimiento, ver Greenwood y Jovanovic (1990), Bencivenga y Smith (1991) y Greenwood y Smith (1997). Evidencia empírica que muestra el link positivo entre productividad y desarrollo de los mercados financieros puede encontrarse en Levine y Zervos (1998) y Aghion, Howitt, y Mayer-Foulkes (2005).

se presenta la definición precisa de cada una de estas tres variables). La última de estas variables (crédito al sector privado) es la preferida en este estudio para medir el desarrollo del mercado financiero, debido a que a diferencia de las dos primeras variables, no sería sólo un indicador de tamaño o de composición del crédito sino que consideraría de forma más precisa cuestiones de monitoreo y distribución de riesgos y de los ahorros.<sup>15</sup> Pese a esto, de igual forma se contrasta la robustez de los resultados utilizando las restantes dos variables de King y Levine (1993).

- **Inestabilidad Macroeconómica:** Esta última variable se incluye como resultado de la influencia del trabajo de Fuentes, Larraín, y Schmidt-Hebbel (2006). Como estos autores explican, la calidad de las políticas que introducen o eliminan distorsiones contribuirían a la eficiencia agregada de la economía, por lo sería esperable que la calidad de las políticas económicas (como la inestabilidad macro), y/o de las instituciones, se encontraran entre los determinantes estructurales de la eficiencia agregada de una economía. Como se menciono anteriormente, debido a que no se cuenta con una variable de amplia disponibilidad que refleje la calidad de las instituciones, es obviada en el análisis. Tal como Fuentes, Larraín, y Schmidt-Hebbel (2006), se utiliza como *proxy* de calidad de las políticas económicas a una variable de inestabilidad macro, definida como la razón entre la tasa de inflación y uno más la tasa de inflación. Evidencia empírica anterior muestra una relación negativa entre movimientos en la productividad total de factores e inestabilidad macro (ver Edwards, 1998 y Fuentes, Larraín, y Schmidt-Hebbel, 2006).

### 1.1.2 Causalidad según Granger

Para estudiar la causalidad entre gasto en I+D y producto, seguiremos la definición de causalidad propuesta por Granger (1969), de acuerdo a la cual una variable  $X$  causa en el sentido de Granger a una variable  $Y$ , si  $Y$  puede ser predicha mejor utilizando la información que otorgan los valores pasados de  $X$ , que sin ellos.

Las especificaciones utilizadas en los contrastes de causalidad según Granger para el caso en que las variables  $X$  e  $Y$  corresponden a datos de panel son similares a las utilizadas en series de tiempo. Siguiendo a Holtz-Eakin, Newey, y Rosen (1988), se consideran especificaciones de vectores autoregresivos adaptados a panel de datos, en

---

<sup>15</sup>Qué envuelve el desarrollo financiero no es sencillo de precisar. Una definición usualmente aceptada es la provista por (Levine 1997), quien entiende desarrollo financiero como el proceso que envuelve el mejoramiento de las cinco funciones de los mercados financieros: (i) Facilitar el comercio, cobertura diversificación y agrupación de riesgo, (ii) Distribuir recursos, (iii) Monitorear a los administradores y ejercer control corporativo, (iv) Mover los ahorros, y (v) Facilitar el intercambio de bienes y servicios.

las que se incluyen efectos individuales fijos en el tiempo por países ( $\eta_i$ ):

$$Y_{it} = \alpha_0 + \sum_{j=1}^m \alpha_{1,j} Y_{i,t-j} + \sum_{j=1}^m \alpha_{2,j} X_{i,t-j} + \eta_i^Y + \epsilon_{i,t}^Y \quad (6)$$

$$X_{it} = \beta_0 + \sum_{j=1}^m \beta_{1,j} X_{i,t-j} + \sum_{j=1}^m \beta_{2,j} Y_{i,t-j} + \eta_i^X + \epsilon_{i,t}^X \quad (7)$$

Se concluirá que  $X(Y)$  causa a la Granger a  $Y(X)$  si  $\alpha_{1,j}(\beta_{2,j}) \forall j = 1, \dots, m$  son estadísticamente diferentes a cero. Si tanto los  $\alpha_{1,j}$  como los  $\beta_{2,j} \forall j = 1, \dots, m$  son estadísticamente distintos a cero entonces existirá bicausalidad en el sentido de Granger entre  $X$  e  $Y$ . El contraste de la significancia estadística conjunta se realiza por medio de un test de Wald, utilizando valores críticos de muestra pequeña.

### 1.1.3 Estimación

El problema de estimar (5) por Mínimos Cuadrados Ordinarios (MCO) es que los parámetros estimados son inconsistentes, pues la variable dependiente rezagada se encuentra correlacionada con el término de error ( $\nu_i + v_{it}$ ). A menos que la distribución del efecto fijo individual degenere, esta correlación no se desvanece a medida que la muestra crece, inflando el coeficiente estimado al otorgarle poder predictivo al efecto fijo. El estimador de efectos fijos (también conocido como estimador intragrupos, o estimador mínimo cuadrado de variables dummies -LSDV) por su parte, si bien elimina la fuente de inconsistencia expresando la ecuación en términos de desviaciones de las medias temporales, igual resulta ser inconsistente. En efecto, desarrollando los términos en desviaciones de media ( $y_{i,t} - \bar{y}_{i,-1}$ ) y ( $v_{i,t} - \bar{v}_{i,-1}$ ), resulta evidente que  $y_{i,t-1}$  está correlacionado negativamente con  $-(1/T - 1)v_{it}$  mientras que, simétricamente  $-(1/T - 1)y_{it}$  lo está con  $v_{i,t}$ . Existen muchos otros pares que también se correlacionan, sin embargo este impacto es de segundo orden pues ambos de términos estarían ponderados por el factor  $(1/T - 1)$ . Cabe señalar eso si, que dicha correlación desaparece conforme  $T$  crece (Bond 2002).

Debido a que al estimar por MCO la variable dependiente rezagada se encuentra correlacionada positivamente con el término de error, los coeficientes estimados estarán sesgados positivamente, mientras que los coeficientes estimados por LSDV tendrán un sesgo negativo pues la correlación tiene el signo contrario. El hecho de que estos dos estimadores estén sesgados en posiciones opuestas es útil como prueba de robustez para los estimadores alternativos, ya que de ser consistentes el coeficiente estimado de la variable dependiente rezagada debería encontrarse en medio de los valores entregados por el estimador MCO y el de LSDV.<sup>16</sup>

---

<sup>16</sup>Este punto se explica en detalle en Benavente, Galetovic, Sanhueza, y Serra (2005).

Una alternativa comúnmente usada para solucionar el problema de la inconsistencia de los estimadores (y del sesgo del estimador de la variable dependiente rezagada) es aplicar el método de Arellano y Bond (1991), el cual consiste en tomar primeras diferencias a la ecuación considerada para eliminar los efectos fijos, y utilizar los rezagos de las variables explicativas como instrumentos, para luego estimar por Método Generalizado de Momentos. La necesidad de utilizar instrumentos surge del hecho de que, a menos que el error idiosincrático siga un proceso *random walk*, estará correlacionado con la variable dependiente rezagada. Esto puede ser solucionado tomando como instrumentos rezagos de dichas variables, teniendo en cuenta que si se tiene una especificación con rezago de la variable dependiente y si  $\Delta v_{it} \sim MA(p)$ , entonces sólo serán instrumentos validos los rezagos de la variable dependiente  $y_{i,t-p-i}$  ( $i = 1, 2, \dots$ ).

Sin embargo, si la variable dependiente muestra alta persistencia de tal forma que los instrumentos tengan una débil correlación con las variables a las cuales están instrumentalizando, las estimaciones del modelo en primeras diferencias puede presentar sesgos considerables.<sup>17</sup> La alta persistencia estimada para la PTF más adelante en este estudio parece sugerir la posibilidad de instrumentos débiles en el presente contexto.

Blundell y Bond (1998) notan que es posible incrementar sustancialmente la eficiencia de las estimaciones combinando las condiciones de momentos, utilizando las ecuaciones en diferencias instrumentalizadas con rezagos de las variables, y las ecuaciones en niveles instrumentalizadas con los rezagos de las variables en diferencias, estimando luego por Método Generalizado de Momentos<sup>18</sup>. Las estimaciones de las especificaciones (6) y (7) se realizan utilizando este estimador, al cual se le conoce en la literatura como “estimador GMM de sistemas”.

Las estimaciones realizadas contemplan el uso como matriz de ponderadores al inverso de la matriz de varianza de los momentos construida en una estimación en dos etapas, lo cual proporciona un estimador asintóticamente eficiente. Tal como muestra Windmeijer (2005) a partir de simulaciones de Montecarlo, los errores estándares asintóticos estimados por medio del método generalizado de momentos (GMM) en dos etapas pueden estar severamente subestimados en muestras pequeñas. Por ello, en este estudio se aplica la corrección de Windmeijer para muestras finitas a todas las estimaciones.

Un supuesto crucial para la validez de las estimaciones GMM es que los instrumentos sean exógenos de tal forma que las condiciones de ortogonalidad se cumplan. Cuando el sistema está sobreidentificado Hansen (1982) sugiere un contraste para ver la validez de los instrumentos utilizados, el cual consiste en verificar que los momentos muestrales se

---

<sup>17</sup>Bond, Hoeffler, y Temple (2001) muestran que el problema de los instrumentos débiles puede ser severo en regresiones de crecimiento de corte transversal.

<sup>18</sup>Instrumentalizar las ecuaciones en niveles con las diferencias de las variables requiere asumir que estas últimas no se encuentran correlacionados con el término de error ( $E[\Delta Y_{i,t} \eta_i] = 0$ ), o en otras palabras, que  $E[Y_{i,t} \eta_i]$  es invariante en el tiempo.

encuentren lo suficientemente cercanos a cero, lo cual corresponde a una generalización del contraste propuesto por Sargan (1958). Sin embargo, este *test* pierde potencia a la medida que el número de instrumentos crece (Roodman 2006). Debido a que en la literatura no existe una noción concreta de cuantos instrumentos son “demasiados”, y considerando que en la mayoría de las estimaciones realizadas los *p-values* del *test* crecen enormemente cuando el número de instrumentos excede al número de grupos (alcanzando incluso valores iguales a 1.000), se utiliza como “regla sencilla” descartar todas aquellas especificaciones en que el número de instrumentos excede al número de grupos. Dado que la validez de los instrumentos escogidos dependerá también de la estructura del error, en este estudio se reportan los contrastes propuestos por Arellano y Bond (1991) para determinar la existencia de segundo orden (M2) en la ecuación en primeras diferencias. En caso de que en el contraste M2 rechace la nula de no autocorrelación de orden dos en la ecuación de primeras diferencias, entonces los errores en niveles seguirán un proceso MA(1) y por tanto sólo serán instrumentos validos los rezagos de la variable dependiente  $y_{i,t-1-i}$  ( $i = 1, 2, \dots$ ) en la ecuación en primeras diferencias y  $\Delta y_{i,t-i}$  ( $i = 1, 2, \dots$ ) en la ecuación en niveles.<sup>19</sup> Para la estimación de las ecuaciones también se utilizan como instrumentos rezagos y diferencias de las variables independientes. La regla utilizada para obtener el orden de los rezagos y diferencias es idéntica al caso en que los instrumentos se basan en la variable dependiente. De esta forma se desea evitar sesgos debido a la posible endogeneidad de alguna de las variables independientes.

## 1.2 Datos

Las principales fuentes de datos provienen de las bases de Lederman y Saenz (2005) (LS), de Heston, Summers, y Aten (2002) (Penn World Table, PWT) y de Klenow y Rodríguez-Claire (2005) (KRC), todas ellas disponibles para el período 1960-2000. De la base de LS se obtienen series de gasto en I+D como porcentaje del producto, las cuales son utilizadas junto con información de PWT para construir series de gasto en I+D en dólares de 1995 ajustados por paridad de poder de compra (PPP) y gasto en I+D reales en PPP per capita. Las series de productividad total de factores utilizadas corresponden a las construidas por KRC a partir de una función de producción Cobb-

---

<sup>19</sup>Generalizando, en caso de que los errores en la ecuación en primeras diferencias sigan un un proceso MA( $q$ ), y la especificación incluye  $p$  rezagos de la variable dependiente, serán validos como instrumentos rezagos de la variable dependiente  $y_{i,t-p-i}$  ( $i = q-1, q, q+1, \dots$ ) en la ecuación en diferencias, mientras que en la ecuación en niveles serán válidos como instrumentos los rezagos  $\Delta y_{i,t-p-i}$  ( $i = q-2, q-1, q, \dots$ )

Douglas que considera capital físico, fuerza laboral y capital humano de los países:<sup>20</sup>

$$\ln(TPF) = \ln(Q/L) - \alpha \ln(K/L) - (1 - \alpha) \ln(H/L) \quad (8)$$

$$\text{con } H = hL = \exp(\phi s)L \quad (9)$$

donde  $Q/L$  corresponde a la razón capital por trabajador,  $K/L$  representa al capital físico por trabajador y  $H$  es el *stock* de capital humano real. En esta configuración los autores asumen  $\alpha = 1/3$  y un retorno a la educación  $\phi$  igual a 0,085

Al cruzar las bases de PWT y LS, la muestra comprende a 65 países para los cuales existe al menos dos observaciones consecutivas de tanto gasto en I+D como de PTF. Las siguientes zonas geográficas aparecen representadas en el panel de datos: África (8 países), América Central y el Caribe (5 países), América del Norte (3 países), América del Sur (10 países), Asia (15 países), Europa (22 países) y Oceanía (2 países). Con esta información se construye un panel desbalanceado con observaciones promediada por períodos de 5 años consecutivos (quinquenios). La lista de países considerados, así como el número total de observaciones por país se encuentra disponible en el apéndice. Las razones para utilizar datos promediados por períodos largos de tiempo son principalmente dos. Primero, debido a que existen muchos años para los cuales no existe información sobre gasto en I+D, utilizar promedios sobre períodos más largos permite tener un mayor número de observaciones consecutivas, lo cual resulta esencial para estimar especificaciones dinámicas. Segundo, al considerar período de tiempo más largos es posible abstraerse de los efectos cíclicos que puedan afectar al gasto en I+D.

En el cuadro 1 se presentan estadísticas descriptivas de las variables utilizadas en los contrastes de causalidad, así como de las variables utilizadas posteriormente como controles en la sección en que se mide el impacto del gasto en I+D sobre la PTF. Como se puede apreciar, la muestra incluye a un grupo heterogéneo de economías, con ingresos per capita que varían entre US\$ 900 a casi US\$ 32,000, promediando los US\$ 11,500. El gasto en I+D per capita, en tanto, promedia US\$ 131, con un importante grupo de economías invirtiendo una cantidad prácticamente nula en estas actividades. Adicionalmente, se incluyen estadísticas descriptivas de las variables consideradas como determinantes de la productividad total de los factores.

---

<sup>20</sup>Para ver una descripción más acabada de la construcción de estas series, ver Klenow y Rodríguez-Claire (2005).

Cuadro 1: Estadísticas Descriptivas<sup>A</sup>

Variable	Obs	Media	D.Est.	Min	Max
id.país	—	—	—	1	65
id.quinquenios	—	—	—	1	8
PTF	261	459.10	125.34	154.74	786.08
ln(PTF)	261	6.08	0.33	5.04	6.67
ln(I+D)	261	20.81	2.18	14.10	26.14
I+D per capita <sup>B</sup>	261	167.72	190.31	0.06	822.81
PIB per capita <sup>B</sup>	261	11,578	7,265	903	31,179
I+D/PIB	261	0.01	0.01	0.001 %	3.72 %
Apertura comercial <sup>C</sup>	261	0.58	0.44	0.08	3.26
IED/PIB <sup>D</sup>	252	0.02	0.03	0.00	0.34
Crédito a Privados <sup>E</sup>	233	0.59	0.39	0.05	2.44
Bank <sup>F</sup>	239	0.82	0.16	0.19	1.00
LLY <sup>G</sup>	180	0.53	0.35	0.12	2.29
Inestabilidad Macro	242	0.13	0.16	0.00	0.89
Inflación	242	0.29	0.94	0.00	8.24

Fuente: Cálculos del Autor.

Notas: (A) Sólo se consideran observaciones de países en los cuales tanto la productividad total de factores como su valor rezagado se encuentren disponibles; (B) En dólares de 1995 ajustados por paridad de poder de compra; (C) Importaciones más exportaciones sobre PIB; (D) Flujos de inversión extranjera directa desde el exterior; (E) Porcentaje del PIB; (F) Razón entre los activos de los bancos comerciales sobre la suma de los activos de los bancos comerciales y del Banco Central; (G) M3 sobre PIB.

En el cuadro 2 se muestran las correlaciones incondicionales entre las variables consideradas. La significancia de los estadísticos se determina por medio del contraste de Spearman. Como se puede apreciar, el gasto en I+D muestra una relación más fuerte con la productividad total de factores cuando se expresa en términos per capita que cuando es considerada en niveles. Además, tanto la apertura como el desarrollo de los mercados financieros se correlaciona positivamente con la PTF, mientras que la inestabilidad macro se relacionaría de forma negativa. Los flujos de inversión extranjera directa, en tanto, no se correlacionan significativamente con la PTF. El cuadro revela además como la inestabilidad macro se correlaciona negativamente con todas las demás variables, mostrando que ambientes con alta inflación históricamente han coexistido con un menor desarrollo de los mercados financieros como del sector de I+D, así como de un menor flujo de bienes y de inversión con el exterior. Por último, el desarrollo de los mercados financieros se correlaciona positivamente con el gasto en I+D de los países.

## 1.3 Resultados

### 1.3.1 Causalidad según Granger

Un punto crucial en la estimación de (6) y en (7) es la elección del número de rezagos  $m$  a incluir. Este valor debiera reflejar la vida productiva que se cree tiene la inversión

Cuadro 2: Correlaciones Incondicionales

	A	B	C	D	E	F	G	H	I	
ln(PTF)	A	1.000								
ln(I+D)	B	0.385*	1.000							
ln(I+D) pcapita)	C	0.645*	0.704*	1.000						
Apertura	D	0.127	-0.291*	0.166*	1.000					
IED/PIB	E	0.137*	-0.042	0.059	0.350*	1.000				
Inest. Macro	F	-0.376*	-0.382*	-0.526*	-0.259*	-0.296*	1.000			
Crédito a Priv.	G	0.443*	0.468*	0.611*	0.106	0.080	-0.484*	1.000		
Bank	H	0.567*	0.467*	0.593*	0.245*	0.120*	-0.593*	0.593*	1.000	
LLY	I	0.467*	0.481*	0.594*	0.289*	0.193*	-0.633*	0.708*	0.530*	1.000

*Fuente:* Cálculos del Autor. *Nota:* (A) Sólo se consideran observaciones de países en los cuales tanto la productividad total de factores (PTF) como su valor rezagado se encuentren disponibles. (B) Ver apéndice A para ver la construcción de las variables. \* indica que la correlación es significativa al 5 %

en I+D. Asumiendo una tasa de depreciación de 0.15, el 90 % del stock de I+D debería extinguirse al cabo de 15 años.<sup>21</sup> Consecuentemente, el valor máximo de  $m$  utilizado en los contrastes de Granger debería ser igual a 2, de tal forma que todas las ecuaciones consideran los dos quinquenios anteriores al actual. La validez de este supuesto se verificó realizando estimaciones con  $m=3$  (VAR(3)) y contrastando la significancia conjunta de los rezagos de orden 3, no siendo posible rechazar la hipótesis nula en ninguno de los casos. Por simplicidad, se asume que el número máximo de rezagos incluidos en (6) y en (7) tanto para  $X$  como para  $Y$  son idénticos entre sí e iguales a dos ( $m = 2$ ).<sup>22</sup>

Además de los contraste que subyacen la expresión (5) entre el logaritmo del gasto en I+D y el logaritmo de la PTF, se consideran dos grupos más de contrastes, con el gasto en I+D escalado tanto por la población como por el producto interno bruto de las economías. Dos son las razones para esta decisión. En primer lugar, utilizar el gasto en I+D escalado provee de una prueba natural de robustez a los resultados. Segundo, al dividir el gasto en I+D por variables de escala de las economías, se tienen indicadores algo más exigentes a la hora de evaluar los incrementos de recursos destinados al sector.

Debido a que los contrastes de Granger resultan sensibles al conjunto de instrumentos disponibles, en lugar de escoger una especificación en particular se presentan los resultados de tres especificaciones para cada VAR(p) ( $p=1,2$ ) instrumentalizadas con distintos rezagos de las variables<sup>23</sup>, descartando posteriormente estimaciones en las que:

<sup>21</sup>Este valor ha sido valor frecuentemente citado en la literatura, ver Griliches, y Mairesse y Sassenoe (1991)

<sup>22</sup>Restringir el número máximo de rezagos redundará en que algunas variables aparecerán con más rezagos que los que realmente tienen un coeficiente distinto de cero, pero al mismo tiempo permitirá reducir el número de especificaciones para las cuales el contraste de Granger deberá ser aplicado.

<sup>23</sup>En la práctica, cada especificación VAR(p) es instrumentalizada con rezagos de las variables de orden: (a) mayor o iguales a  $p + 1$ , (b) mayor o iguales a  $p + 2$  y (c) mayor o iguales a  $p + 3$

(i) el test de Hansen rechace la validez del conjunto de instrumentos; (ii) el contraste M2 encuentre autocorrelación de primer orden de los errores en las ecuaciones en nivel y el conjunto de instrumentos contenga al  $(p+1)$ -ésimo rezago y a la  $p$ -ésima diferencia de la variable dependiente del VAR( $p$ ), y (iii) la suma de los coeficientes autoregresivos se encuentre fuera de la cota proporcionada por las estimaciones MCO y FE.<sup>24</sup>

Todas las estimaciones se realizan utilizando el estimador GMM de sistemas. Se presentan tres grupos de estadísticos. En primer lugar, se muestra el contraste de Granger y el p-value asociado. El segundo grupo de estadísticos reportan información concerniente a la validez de la especificación estimada, y por tanto, del contraste de Granger reportado. En este grupo se presentan el contraste de Hansen, los contrastes de autocorrelación de los residuos de segundo orden en la ecuación de primeras diferencias, y la suma de los coeficientes autoregresivos estimados por MCO, System GMM y FE. El último grupo de estadísticos muestra información acerca del número de observaciones, grupos, instrumentos y rezagos de las variables utilizados como instrumentos.

A partir de los resultados que se presentan en los cuadros 3, 4 y 5, es posible notar que las especificaciones estimadas comparten algunas características. En primer lugar, en ninguno de los casos se encuentra autocorrelación de primer orden de los errores en las ecuaciones en nivel<sup>25</sup>. Segundo, los coeficientes estimados resultan sensibles al conjunto de instrumentos utilizados, encontrándose la suma de estos en algunos casos fuera de la cota entregadas por las estimaciones MCO y de efectos fijos.

En los cuadros 3 se analiza la causalidad a la Granger entre el logaritmo de la PTF y el logaritmo del gasto en I+D agregado. En todas las especificaciones los instrumentos utilizados pasan el contraste de Hansen y los coeficientes estimados por GMM de sistemas se encuentran dentro de la cota delimitada por las estimaciones de MCO y FE. Sin embargo, el contraste M2 sugiere la presencia de autocorrelación de segundo orden de los errores en las ecuaciones en diferencia, lo cual invalida a las especificaciones (1) y (4) del cuadro 3. A pesar de que las especificaciones (2) y (3) muestran errores con autocorrelación de segundo orden, son consideradas como válidas pues en ellas se utilizan como instrumentos rezagos de orden mayor a tres, por lo cual el supuesto de correlación nula de los instrumentos con el término de error tanto en las ecuaciones en niveles como en primeras diferencias se satisface.

Los resultados muestran, en general, una situación poco concluyente. Por un lado, las especificaciones VAR(1) sugieran causalidad unidireccional en el sentido de Granger desde gasto en I+D a la PTF, pues en las dos especificaciones válidas el gasto en I+D precede a la PTF, y no viceversa. En efecto, con un rezago, el test para I+D es es-

---

<sup>24</sup>Por razones de espacio no se presentan los parámetros estimados de las ecuaciones utilizadas en la construcción de los contrastes. En la siguiente sección se estudia el impacto del gasto en I+D sobre productividad.

<sup>25</sup>Aunque no se reportan, también se realizaron contrastes para evaluar la existencia de autocorrelación de segundo orden en las ecuaciones en niveles. En ningún caso se pudo rechazar la nula de no autocorrelación de segundo orden

Cuadro 3: Contrastes de Causalidad a la Granger, I+D en niveles

 $H_0: \ln(I+D)$  no causa a  $\ln(PTF)$ 

Var. Dep.: $\ln(PTF)$	VAR(1)			VAR(2)		
	(1)	(2)	(3)	(4)	(5)	(6)
Granger	3.27	15.42***	3.39*	6.07***	2.41	1.04
Válido?	No	Si	Si	No	Si	Si
Hansen (P-Value)	(0.163)	(0.309)	(0.747)	(0.235)	(0.715)	(0.603)
M2	(0.028)**	(0.020)**	(0.017)**	(0.085)*	(0.127)	(0.145)
Coef. OLS	0.932	0.932	0.932	0.950	0.950	0.950
Coef. S.GMM	0.791	0.832	0.576	0.858	0.795	0.575
Coef. FE	0.507	0.507	0.507	0.339	0.339	0.339
Observaciones	261	261	261	190	190	190
Grupos	65	65	65	54	54	54
Rezagos Instr.	[ 3 , 5 ]	[ 4 , 6 ]	[ 5 , 7 ]	[ 2 , 4 ]	[ 3 , 5 ]	[ 4 , 6 ]
Instrumentos	40	32	24	31	23	15

 $H_0: \ln(PTF)$  no causa a  $\ln(I+D)$ 

Var. Dep.: $\ln(I+D)$	VAR(1)			VAR(2)		
	(1)	(2)	(3)	(4)	(5)	(6)
Granger	0.00	0.07	0.03	1.53	4.14**	0.02
Válido?	Si	Si	Si	Si	Si	Si
Hansen (P-Value)	0.315	0.474	0.331	0.204	0.369	0.477
M2	(0.547)	(0.540)	(0.536)	(0.360)	(0.462)	(0.531)
Coef. OLS	0.947	0.947	0.947	0.954	0.954	0.954
Coef. S.GMM	0.791	0.832	0.576	0.858	0.795	0.575
Coef. FE	0.301	0.301	0.301	0.073	0.073	0.073
Observaciones	261	261	261	190	190	190
Grupos	65	65	65	54	54	54
Rezagos Instr.	[ 3 , 5 ]	[ 4 , 6 ]	[ 5 , 7 ]	[ 2 , 4 ]	[ 3 , 5 ]	[ 4 , 6 ]
Instrumentos	40	32	24	31	23	15

Fuente: Estimaciones del Autor.

Nota: Los estadísticos del contraste de Granger tienen distribución  $F(r, n - k)$ , donde  $r$  es el número de restricciones,  $n$  es el número de observaciones y  $k$  es el número de parámetros estimados. Los datos se encuentran promediados por períodos de cinco años.

\*: significativo al 10 %, \*\*: significativo al 5 %, \*\*\*: significativo al 1 %

estadísticamente significativo al 1 % en un caso (columna 2 del cuadro 3), y al 10 % en el otro (columna 3), mientras que para la PTF el test no es estadísticamente significativo a los niveles usuales de significancia. Las especificaciones VAR(2), en tanto, muestran una situación menos clara. En este caso, el test para I+D no es estadísticamente significativo en ninguna de las dos especificaciones válidas, mientras que el test para PTF es significativo en sólo un caso al 5 % (columna 5 del panel inferior del cuadro 3).

En el cuadro 4 se presentan los resultados obtenidos con el gasto en I+D expresado en términos per capita. Nuevamente en las especificaciones (1) y (4) del cuadro 4 el contraste M2 sugiere la presencia de autocorrelación de segundo orden de los errores en las ecuaciones en diferencia, lo cual invalida los contrastes que subyacen estas expresiones. Además, las especificaciones (6) del panel superior, y la (3) del panel inferior tampoco son consideradas, pues la suma de los coeficientes de la variable dependiente rezagada salen de la cota entregada por las estimaciones OLS y FE.

El problema se aclara notablemente al considerar el gasto en I+D en términos per capita. En todas las especificaciones VAR(1) válidas, el logaritmo del gasto en I+D

Cuadro 4: Contrastes de Causalidad a la Granger, I+D en términos per capita

$H_0$ : ln(I+D per capita) no causa a ln(PTF)

Var.Dep.: ln(PTF)	VAR(1)			VAR(2)		
	(1)	(2)	(3)	(4)	(5)	(6)
<b>Granger</b>	1.74	15.52***	27.38***	6.12***	3.11**	0.01
<b>Válido?</b>	No	Si	Si	No	Si	No
<b>Hansen (P-Value)</b>	(0.218)	(0.190)	(0.372)	(0.157)	(0.333)	(0.043)**
<b>M2</b>	(0.022)**	(0.019)**	(0.011)**	(0.071)*	(0.059)*	(0.048)**
<b>Coef.OLS</b>	0.884	0.884	0.884	0.880	0.880	0.880
<b>Coef. S.GMM</b>	0.829	0.774	0.618	0.872	0.867	1.206
<b>Coef.FE</b>	0.490	0.490	0.490	0.311	0.311	0.311
<b>Observaciones</b>	261	261	261	190	190	190
<b>Grupos</b>	65	65	65	54	54	54
<b>Rezagos Instr.</b>	[ 3 , 5 ]	[ 4 , 6 ]	[ 5 , 7 ]	[ 2 , 4 ]	[ 3 , 5 ]	[ 4 , 6 ]
<b>Instrumentos</b>	40	32	24	31	23	15

$H_0$ : ln(PTF) no causa a Ln(I+D per capita)

Var.Dep.: ln(I+D pc)	VAR(1)			VAR(2)		
	(1)	(2)	(3)	(4)	(5)	(6)
<b>Granger</b>	0.03	0.73	0.12	14.01***	1.46	0.14
<b>Válido?</b>	Si	Si	No	Si	Si	Si
<b>M1</b>	(0.219)	(0.200)	(0.205)	(0.198)	(0.236)	(0.237)
<b>M2</b>	(0.576)	(0.551)	(0.532)	(0.653)	(0.316)	(0.638)
<b>Coef.OLS</b>	0.905	0.905	0.905	1.015	1.015	1.015
<b>Coef. S.GMM</b>	0.905	0.902	1.015	0.915	0.977	1.004
<b>Coef.FE</b>	0.311	0.311	0.311	0.073	0.073	0.073
<b>Observaciones</b>	261	261	261	190	190	190
<b>Grupos</b>	65	65	65	54	54	54
<b>Rezagos Instr.</b>	[ 3 , 5 ]	[ 4 , 6 ]	[ 5 , 7 ]	[ 2 , 4 ]	[ 3 , 5 ]	[ 4 , 6 ]
<b>Instrumentos</b>	40	32	24	31	23	15

Fuente: Estimaciones del Autor.

Nota: Los estadísticos del contraste de Granger tienen distribución  $F(r, n - k)$ , donde  $r$  es el número de restricciones,  $n$  es el número de observaciones y  $k$  es el número de parámetros estimados. Los datos se encuentran promediados por períodos de cinco años.

\*: significativo al 10 %, \*\*: significativo al 5 %, \*\*\*: significativo al 1 %

per capita precede al logaritmo de la PTF al 1 %, y no al revés (columnas 2 y 3). Esta situación se mantiene en la única especificaciones válida del VAR(2), en la cual el gasto en I+D precede a la PTF al 5 %. Por tanto, la evidencia sugiere la presencia de causalidad unidireccional desde gasto en I+D (per capita) hacia productividad total de factores.

Por último, en el cuadro 5 se muestran los resultados de la aplicación del contraste de causalidad para el gasto en I+D expresado como proporción del producto interno bruto. Después de descartar las especificaciones no válidas se observa que en sólo una especificación el gasto en I+D precede estadísticamente al logaritmo de la PTF (columna 2). En esta especificación se aprecia además -a diferencia de los dos casos anteriores- la existencia de una considerable retroalimentación desde el logaritmo de la PTF hacia el gasto en I+D. En el resto de las especificaciones, en tanto, no se muestra ningún tipo de relación estadística entre PTF e I+D. Por tanto, la evidencia disponible no permite establecer con claridad la relación de precedencia estadística, y en caso de que existiera, no es posible tampoco determinar si es que va desde gasto en I+D hacia PTF o en sentido contrario.

Cuadro 5: Contrastes de Causalidad a la Granger, I+D como porcentaje del PIB

$H_0$ : I+D/PIB no causa a ln(PTF)

Var. Dep.: ln(PTF)	VAR(1)			VAR(2)		
	(1)	(2)	(3)	(4)	(5)	(6)
<b>Granger</b>	4.331**	3.507*	1.411	0.331	0.217	0.049
<b>Válido?</b>	No	Si	Si	No	Si	No
<b>Hansen (P-Value)</b>	0.475	0.366	0.138	0.300	0.162	0.192
<b>M2</b>	0.042	0.055	0.062	0.076	0.080	0.063
<b>Coef. OLS</b>	0.939	0.939	0.939	0.930	0.930	0.930
<b>Coef. S.GMM</b>	0.928	0.847	0.786	0.974	0.914	1.011
<b>Coef. FE</b>	0.661	0.661	0.661	0.569	0.569	0.569
<b>Observaciones</b>	261	261	261	190	190	190
<b>Grupos</b>	65	65	65	54	54	54
<b>Rezagos Instr.</b>	[ 3 , 5 ]	[ 4 , 6 ]	[ 5 , 7 ]	[ 2 , 4 ]	[ 3 , 5 ]	[ 4 , 6 ]
<b># Instrumentos</b>	40	32	24	31	23	15

$H_0$ : ln(PTF) no causa a I+D/PIB

Var. Dep.: ln(I+D)	VAR(1)			VAR(2)		
	(1)	(2)	(3)	(4)	(5)	(6)
<b>Granger</b>	2.400	5.188**	0.118	1.565	0.245	0.147
<b>Válido?</b>	Si	Si	Si	No	No	Si
<b>Hansen (P-Value)</b>	0.217	0.613	0.438	0.580	0.403	0.335
<b>M2</b>	0.573	0.516	0.557	0.085	0.226	0.918
<b>Coef. OLS</b>	0.943	0.943	0.943	0.968	0.968	0.968
<b>Coef. S.GMM</b>	0.858	0.782	0.939	0.974	1.083	0.718
<b>Coef. FE</b>	0.565	0.565	0.565	0.529	0.529	0.529
<b>Observaciones</b>	261	261	261	190	190	190
<b>Grupos</b>	65	65	65	54	54	54
<b>Rezagos Instr.</b>	[ 3 , 5 ]	[ 4 , 6 ]	[ 5 , 7 ]	[ 2 , 4 ]	[ 3 , 5 ]	[ 4 , 6 ]
<b># Instrumentos</b>	40	32	24	31	23	15

Fuente: Estimaciones del Autor.

Nota: Los estadísticos del contraste de Granger tienen distribución  $F(r, n - k)$ , donde  $r$  es el número de restricciones,  $n$  es el número de observaciones y  $k$  es el número de parámetros estimados. Los datos se encuentran promediados por períodos de cinco años.

\*: significativo al 10 %, \*\*: significativo al 5 %, \*\*\*: significativo al 1 %

La dependencia de los resultados derivados en los ejercicios de precedencia a la definición de la variable de I+D llama la atención. En efecto, cuando la variable considerada es el logaritmo del gasto en I+D los resultados muestran la existencia de precedencia que -aunque en forma débil- iría desde I+D a PTF. Al escalar el gasto por población, la causalidad estadística desde I+D a PTF se hace más fuerte. Por último y en contraste a las dos situaciones anteriores, al escalar el gasto en I+D por producto la relación estadística entre I+D y PTF se vuelve difusa. Esto último es quizás lo más sorprendente. Una posible explicación es que, al ser la PTF un residuo derivado del producto interno bruto, al escalar el gasto en I+D por esta última variable se podría estar induciendo una correlación por construcción entre los valores pasados de PTF con el valor presente de la razón de gasto en I+D a producto.

## Robustez

Para analizar la robustez de los resultados se computan los contrastes de causalidad en el sentido de Granger para el mismo conjunto original de datos, promediados esta

vez por períodos de cuatro, tres y dos años. En los cuadros 6, 7 y 8 se presentan los resultados para los casos del logaritmo del gasto en I+D, logaritmo del gasto en I+D per capita, y gasto en I+D como porcentaje del PIB respectivamente. Por razones de espacio, sólo se presenta el estadístico respectivo, señalando los casos en que se rechaza la nula al 10 %, 5 % y 1 %, así como las especificaciones válidas de acuerdo a los requisitos descritos al inicio de esta sección. Tal como en el caso de quinquenios de años, el orden de las especificaciones ( $m$ ) se escoge de tal forma que las estimaciones incluyan información para los últimos 15 años.

Los resultados de los contrastes, confirman sucesivamente para las distintas fuentes de datos los resultados encontrados con los datos promediados por promedios de cinco años. Sin embargo, algunos de los resultados merecen ser comentados. Primero, la relación de causalidad sería más fuerte en especificaciones VAR(p) de menor orden, y al igual que en la base promediada por períodos de cinco años, cuando se considera el gasto en I+D en términos per capita (cuadros 6 y 7). Segundo, nuevamente los contrastes para el gasto en I+D como porcentaje del PIB muestran una situación poco concluyente (cuadros 8). Para estos casos, pese a que a *grosso* modo pareciera haber precedencia estadística más fuerte desde I+D a PTF, el gran número de especificaciones no válidas impide evaluar adecuadamente la hipótesis de precedencia.

Por tanto, los resultados sugieren la presencia de causalidad unidireccional desde gasto en I+D hacia PTF en los casos de logaritmo del gasto en I+D y logaritmo del gasto en I+D per capita, mientras que en el caso de gasto en I+D como porcentaje del PIB la evidencia no es suficiente como para determinar la dirección de la causalidad estadística.

Los anteriores resultados tienen asociadas importantes recomendaciones para el trabajo empírico. Primero, los coeficientes estimados para I+D en especificaciones en las que se utiliza la razón de gasto en I+D a producto, deberían ser interpretados con cautela, debido a que la precedencia estadística de I+D a productividad no pudo ser aceptada ni rechazada. Segundo, al menos desde un punto de vista estadístico, parece más correcto escalar al gasto en I+D por la población, que hacerlo por el producto de la economía o utilizar el gasto en I+D agregado. En efecto, los resultados indican que la razón entre gasto en I+D y población sería la que mostraría de forma más robusta precedencia unidireccionalmente con respecto al logaritmo de la PTF de las tres consideradas. Esto último podría ser interpretado como un indicio de que el problema de simultaneidad, desde un punto de vista estadístico, no sería de importancia en este caso. Otra ventaja de utilizar esta variable en el trabajo empírico es que, al ser en general más estable la población que el producto de las economías, al escalar por la primera de estas variables se introduciría un menor ruido a la evolución del gasto en I+D.

Cuadro 6: Causalidad a la Granger: Robustez I

Especif.	Instr.	$H_0: \ln(I+D)$ no causa a la Granger a $\ln(TFP)$			$H_0: \ln(TFP)$ no causa a la Granger a $\ln(I+D)$		
		Bienios	Trienios	Cuatrien.	Bienios	Trienios	Cuatrien.
VAR 1	Set A	6.66** <sup>A</sup>	5.72**	4.28**	4.08** <sup>A</sup>	0.34 <sup>A</sup>	0.25
	Set B	4.94**	7.21***	14.08***	1.26 <sup>A</sup>	0.79	1.48
	Set C	5.59**	19.73***	10.55***	1.03 <sup>A</sup>	0.43	3.11*
VAR 2	Set A	12.08***	4.96**	3.39**	1.63 <sup>A</sup>	1.45 <sup>A</sup>	0.70 <sup>A</sup>
	Set B	7.36***	2.89*	4.38**	4.40*** <sup>A</sup>	1.18	0.20
	Set C	2.07	6.53***	3.63**	0.56 <sup>A</sup>	0.86 <sup>A</sup>	0.39
VAR 3	Set A	11.6***	1.96 <sup>A</sup>	0.84	1.83 <sup>A</sup>	1.80	2.07 <sup>A</sup>
	Set B	2.07	9.81***	1.04	1.20 <sup>A</sup>	0.99 <sup>A</sup>	0.46
	Set C	5.74***	39.25*** <sup>A</sup>	1.36	0.74 <sup>A</sup>	0.90 <sup>A</sup>	4.15*** <sup>A</sup>
VAR 4	Set A	1.76	1.64	—	0.44 <sup>A</sup>	3.23*** <sup>A</sup>	—
	Set B	2.07* <sup>A</sup>	2.26*	—	0.48 <sup>A</sup>	2.83**	—
	Set C	0.99 <sup>A</sup>	1.27	—	0.51 <sup>A</sup>	0.26 <sup>A</sup>	—
VAR 5	Set A	0.66 <sup>A</sup>	—	—	0.44 <sup>A</sup>	—	—
	Set B	1.44 <sup>A</sup>	—	—	0.58	—	—
	Set C	1.86	—	—	1.29	—	—

Fuente: Estimaciones del Autor.

Nota: Los estadísticos presentados tienen distribución  $F(r, n - k)$ , donde  $r$  es el número de restricciones,  $n$  es el número de observaciones y  $k$  es el número de parámetros estimados. A: Especificaciones que no pasan requisitos de validez descritos en 1.1.3. \*: significativo al 10 %, \*\*: significativo al 5 %, \*\*\*: significativo al 1 %

### 1.3.2. Impacto de I+D sobre Productividad

Una vez aclarada la relación de causalidad estadística entre el gasto en I+D y productividad, se hace necesario evaluar si es que la correlación entre estas variables es robusta a la inclusión de otros factores. Esto último se ilustra en los cuadros 9 y 10, en los cuales se muestra el resultado de la estimación de la ecuación (5) para el logaritmo del gasto en I+D agregado y para el logaritmo del gasto en I+D per capita. Se descarta evaluar el impacto del gasto en I+D como porcentaje del PIB, pues los resultados de la sección anterior no indican precedencia unidireccional desde I+D a PTF para esta variable. Los controles corresponden a variables de apertura, desarrollo de los mercados financieros, inestabilidad macroeconómica y inversión extranjera directa. En la práctica, las especificaciones estimadas corresponden a alguna variante de la siguiente ecuación:

$$\ln(PTF)_{i,t} = \mu + \beta_{PTF} \ln(PTF)_{i,t-1} + \beta_R \ln(R)_{i,t} + \beta_1 Apertura_{i,t} + \beta_2 DesFin_{i,t} + \beta_3 InestMacro_{i,t} + \beta_1 (IED/PIB)_{i,t} + \eta_i + \zeta_t + \nu_{i,t}, \quad (10)$$

donde  $\ln(R)$  corresponde a la variable de actividad en el sector de I+D considerada,  $Apertura$  iguala a la suma de importaciones y exportaciones como porcentaje del PIB,  $Desfin$  denota a la variable de desarrollo financiero considerada (medida alternativamente de acuerdo a las tres definiciones de desarrollo de los mercados financieros descrito en 1.1.2), mientras que  $InestMacro$  representa a la inestabilidad de la economía (razón entre tasa de inflación y uno más la tasa de inflación). Por último,  $IED/PIB$  es igual a los flujos de inversión extranjera directa provenientes desde el exterior como

Cuadro 7: Causalidad a la Granger: Robustez II

Especif.	Instr.	H <sub>0</sub> : ln(I+D pc) no causa a la Granger a ln(TFP)			H <sub>0</sub> : ln(TFP) no causa a la Granger a ln(I+D pc)		
		Bienios	Trienios	Cuatrien.	Bienios	Trienios	Cuatrien.
VAR 1	Set A	5.10*** <sup>A</sup>	16.82***	9.16***	3.72* <sup>A</sup>	1.42 <sup>A</sup>	0.55
	Set B	7.16***	24.44***	8.17***	1.60 <sup>A</sup>	1.54	2.99*
	Set C	17.02***	21.67***	8.25***	1.02 <sup>A</sup>	1.38	5.27
VAR 2	Set A	8.44***	19.75***	8.04***	1.37	1.88	0.49 <sup>A</sup>
	Set B	11.63***	11.42***	7.05***	0.83	1.20	0.46
	Set C	5.70***	22.96***	5.24***	0.41	1.33	0.98
VAR 3	Set A	9.41***	5.00***	3.97**	0.47 <sup>A</sup>	1.53	0.86
	Set B	3.73**	3.90**	4.44***	0.50	2.24*	1.83
	Set C	4.38***	7.12*** <sup>A</sup>	1.13	0.38	6.29*** <sup>A</sup>	1.18
VAR 4	Set A	3.06**	1.25	—	0.61 <sup>A</sup>	1.77	—
	Set B	0.10	4.96***	—	0.39 <sup>A</sup>	1.07 <sup>A</sup>	—
	Set C	0.01	1.08	—	0.24 <sup>A</sup>	1.44 <sup>A</sup>	—
VAR 5	Set A	0.36	—	—	0.03 <sup>A</sup>	—	—
	Set B	1.11	—	—	0.19 <sup>A</sup>	—	—
	Set C	4.66***	—	—	0.96 <sup>A</sup>	—	—

Fuente: Estimaciones del Autor.

Nota: Los estadísticos presentados tienen distribución  $F(r, n - k)$ , donde  $r$  es el número de restricciones,  $n$  es el número de observaciones y  $k$  es el número de parámetros estimados. A: Especificaciones que no pasan requisitos de validez descritos en 1.1.3. \*: significativo al 10 %, \*\*: significativo al 5 %, \*\*\*: significativo al 1 %

porcentaje del PIB.

Como se mencionó en la sección 1.1.3, la variable preferida de desarrollo financiero corresponde al porcentaje de los créditos proporcionados al sector privado como porcentaje del producto. El ejercicio que a continuación se describe también fue realizado considerando como variable de desarrollo financiero a liquidez del sistema financiero como porcentaje del PIB, y a la parte de los créditos otorgados por el sector privado. Los resultados no fueron cualitativamente distintos, por lo cual no fueron incluidos.

La estrategia empírica consiste en estimar primero la contribución de cada factor por separado, concluyendo posteriormente con una especificación en la que se estima la contribución conjunta de todas variables anteriores a la productividad de los factores. En cada regresión se controla tanto por el logaritmo de la productividad rezagada como por el logaritmo del gasto en I+D. De esta forma se espera entregar una idea de la robusto de la correlación entre PTF e I+D. Además, considerando que estamos estimando especificaciones dinámicas, se computa la elasticidad de largo plazo entre el gasto en I+D y la productividad total de factores para entregar una idea de la magnitud de la contribución del desarrollo del sector de I+D.

Todas las ecuaciones se estiman por GMM en sistemas. Los instrumentos utilizados en cada especificación corresponden al segundo y tercer rezago de cada variable, excepto en aquellos casos en que las estimaciones no cumplan alguno de los requisitos descritos en la sección 2.3, en cuyo caso se buscan especificaciones con más rezagos<sup>26</sup>. La arbi-

<sup>26</sup>En la práctica, la única especificación que fue estimada con un conjunto restringido de instrumentos fue aquella en que se incluyeron todas las variables, pues el conjunto de instrumentos duplicaba

Cuadro 8: Causalidad a la Granger: Robustez III

Especif.	Instr.	H <sub>0</sub> : I+D/PIB no causa a la Granger a ln(PTF)			H <sub>0</sub> : ln(PTF) no causa a la Granger a I+D/PIB		
		Bienios	Trienios	Cuatrien.	Bienios	Trienios	Cuatrien.
VAR 1	Set A	5.44** <sup>A</sup>	10.99*** <sup>A</sup>	5.95**	0.51 <sup>A</sup>	1.74 <sup>A</sup>	0.8 <sup>A</sup>
	Set B	6.42**	4.36**	4.35** <sup>A</sup>	1.05 <sup>A</sup>	5.74**	2.60 <sup>A</sup>
	Set C	5.13**	8.06***	8.22***	0.00 <sup>A</sup>	4.99** <sup>A</sup>	2.969*
VAR 2	Set A	2.67*	1.82	3.36**	0.77 <sup>A</sup>	0.81 <sup>A</sup>	0.77 <sup>A</sup>
	Set B	1.65	4.45**	4.27**	0.54 <sup>A</sup>	1.48 <sup>A</sup>	1.805 <sup>A</sup>
	Set C	2.86*	2.76*	1.51	0.02 <sup>A</sup>	0.13 <sup>A</sup>	0.24
VAR 3	Set A	1.89	4.19**	1.62	0.26 <sup>A</sup>	0.80 <sup>A</sup>	0.76 <sup>A</sup>
	Set B	0.00 <sup>A</sup>	2.64** <sup>A</sup>	1.00	0.82 <sup>A</sup>	0.19 <sup>A</sup>	0.40 <sup>A</sup>
	Set C	1.10	0.75 <sup>A</sup>	—	1.82 <sup>A</sup>	2.50** <sup>A</sup>	—
VAR 4	Set A	1.68 <sup>A</sup>	0.56	—	1.20 <sup>A</sup>	0.62 <sup>A</sup>	—
	Set B	1.06	0.10	—	0.45 <sup>A</sup>	0.75 <sup>A</sup>	—
	Set C	1.07	0.24 <sup>A</sup>	—	0.72 <sup>A</sup>	0.25 <sup>A</sup>	—
VAR 5	Set A	0.65	—	—	0.43 <sup>A</sup>	—	—
	Set B	0.58 <sup>A</sup>	—	—	0.74 <sup>A</sup>	—	—
	Set C	0.86	—	—	0.47 <sup>A</sup>	—	—

Fuente: Estimaciones del Autor.

Nota: Los estadísticos presentados tienen distribución  $F(r, n - k)$ , donde  $r$  es el número de restricciones,  $n$  es el número de observaciones y  $k$  es el número de parámetros estimados. A: Especificaciones que no pasan requisitos de validez descritos en 1.1.3. \*: significativo al 10%, \*\*: significativo al 5%, \*\*\*: significativo al 1%

triedad de esta elección considero el *trade-off* entre ganancias de eficiencia al incluir más información, y sobre ajuste de los datos al incluir como instrumentos rezagos de cada una de las variables. Las estimaciones por MCO y efectos fijos, pese a ser sesgadas e inconsistentes, son consideradas de igual forma para así chequear la robustez de los resultados. Por último, es importante recalcar que al igual que en los contrastes de causalidad en el sentido de Granger, se promedian los datos por períodos de cinco años, por lo cual los parámetros estimados corresponderán al impacto promedio de la variable de interés en términos de productividad durante el quinquenio.

## Resultados

Como se puede apreciar en el cuadro 9 para el logaritmo del gasto en I+D agregado, y en el 10 para el logaritmo del gasto en I+D per capita, para todos los factores considerados el signo de la correlación incondicional con la productividad total de factores computada en la sección 1.2 se mantiene. Sin embargo, la significancia de estas correlaciones parciales varía ampliamente entre variables y métodos de estimación.

Las estimaciones revelan además una alta persistencia del logaritmo de la PTF, con valores que varían entre 0.6 en el caso de efecto fijos, a valores superiores a 0.9 en las estimaciones MCO. Los parámetros estimados por GMM de sistemas, en tanto, se encuentran siempre acotados por las estimaciones de MCO y efectos fijos, cumpliéndose por tanto la prueba de robustez descrita en la sección 1.1.3. Es importante notar que el hecho que el coeficiente de la PTF rezagada sea menor a uno, repercutirá en que

---

al número de individuos, arrojando p-values iguales a 1.000

innovaciones en cualquiera de los regresores tendrá un impacto acotado sobre el nivel de la PTF, y un efecto nulo sobre la tasa de crecimiento de largo plazo<sup>27</sup> Este resultado se contrapone con las predicciones de modelos de crecimiento endógeno como Romer (1990), en los cuales un incremento de los recursos (investigadores) en el sector de investigación afecta a la tasa de crecimiento de la productividad y del producto de la economía.

En el panel A del cuadro 9 se presentan los resultados de la estimación consistente por GMM de sistemas. El gasto en I+D mantiene su significancia en cinco de las seis especificaciones estimadas, y lo que es más importante, su significancia sobrevive en la especificación en que se estima la contribución de todos los determinantes en forma conjunta (especificación 6, sexta fila). Los resultados muestran además que economías más abiertas serían más productivas que aquellas que no lo son, mientras que el desarrollo de los mercados financieros no contribuiría a una mayor productividad. Por último, pese a que una mayor inversión extranjera directa, y ambientes macro más estables se correlacionan significativa con la PTF (especificaciones 3 y 4), esta significancia se desvanece al considerar la acción del resto de los factores en la especificación 6.

Las estimaciones por MCO y efectos fijos (paneles B y C del cuadro 9) ratifican los resultados de la estimación por GMM de sistemas. El gasto en I+D mantiene su significancia en las dos ecuaciones en que se estima la acción conjunta de todos los factores (especificación 6 de ambos paneles), con un *score* de 15 especificaciones significativas sobre un total de 18. Algunas variables, como apertura e inestabilidad macro son aún más significativas que en la estimación GMM (ver panel B, MCO), mientras que el crédito privado mantiene su correlación estadísticamente nula con la productividad total de factores.

La estimación de la ecuación (10) para el logaritmo del gasto en I+D per capita confirma la mayor parte de los resultados encontrados para el gasto en I+D agregado. El cuadro 10 muestra una significancia aún mayor para el gasto en I+D, mientras que el resto de los controles son estadísticamente menos significativos que en el cuadro 9. En efecto, el gasto en I+D es significativo en todas las especificaciones estimadas, mientras que la apertura, la inversión extranjera directa y la inestabilidad macroeconómica sólo son significativas en algunas especificaciones en las cuales no estima la contribución de todos los determinantes en forma conjunta. Por último, el crédito a privados como porcentaje del producto tampoco es significativo en ninguna de las estimaciones del cuadro 10.

---

<sup>27</sup>En efecto, sustrayendo  $\ln(PTF)_{i,t-1}$  a ambos lados de la ecuación (10), tendremos que,

$$\ln(PTF)_{i,t} - \ln(PTF)_{i,t-1} = (\beta_{PTF} - 1)\ln(PTF)_{i,t-1} + \beta_R \ln(R)_{i,t} + (\text{otros términos}).$$

Por lo tanto, de resultar  $\beta_{PTF}$  menor a uno, el incremento inicial sobre la PTF producto de incrementos en el gasto en I+D no tendrá consecuencias sobre su tasa de crecimiento de largo plazo.

En conclusión, los resultados encontrados sugieren una fuerte relación entre gasto en I+D y productividad total de los factores. Las estimaciones muestran además una magnitud que no sería despreciable. En efecto, las elasticidades de largo plazo computadas revelan que ante un incremento de 10 % en el gasto en I+D total de una economía, la productividad total de factores reaccionaría en promedio en un 2 %<sup>28</sup>

## 1.4. Resumen y Comentarios Finales

En este capítulo se estudió el rol del gasto en investigación y desarrollo como motor de productividad. Debido a que tanto el gasto en I+D como la PTF muestran una fuerte relación con el ingreso de los países, es posible que ambas muestren respuestas similares ante *shocks* de demanda, sin que exista necesariamente una relación entre ellas.

En la primera parte de este trabajo se estudió este problema bajo el marco que se deriva de la utilización de conceptos de causalidad estadística. Los resultados indican que la mayor parte de la relación entre I+D y productividad total de los factores iría desde gasto en I+D hacia PTF. Ello, a pesar de la existencia de *feedbacks* en sentido contrario, los cuales en cualquier caso serían poco recurrentes en las estimaciones realizadas. Además, el impacto del gasto en I+D sobre la PTF pareciera ser robusto a la inclusión de controles, y su magnitud no sería menor: usando los resultados documentados se puede mencionar que países que lograran duplicar su gasto en I+D total podrían lograr ser un 20 % más productivos.

Los resultados encontrados, en cualquier caso, deben ser analizados con cautela. La variable de gasto en I+D utilizada corresponde a una medida más agregada de lo que sería deseable por lo cual el impacto encontrado corresponde al promedio de todos los tipos de actividades de I+D realizadas. Considerando que no existen razones para pensar que la composición del gasto en I+D realizada en los distintos sectores de la economía es homogénea entre países, es posible que algunos tipos de gasto en I+D posean un impacto aún mayor sobre PTF. ¿Cuán productivo es el gasto realizado/financiado por el sector público v/s el de los privados? ¿Es más productivo es el gasto realizado en los sectores productivos v/s no productivos? ¿Gasto en investigación básica v/s aplicada? Todas estas son cuestiones que quedan abiertas en este trabajo y podrían ayudar a dar una idea más precisa de la contribución del gasto en I+D.

Por último, es importante recalcar la relevancia de los resultados encontrados en este artículo. Los resultados de este documento sugieren que las diferencias de gasto en I+D estarían relacionadas a las diferencias en PTF futuras, develando la cuestión de la posible autoselección (¿países más productivos gastan más en I+D, o países que gastan más en I+D se vuelven más productivos?). Considerando además que las diferencias de

---

<sup>28</sup>Esto se deriva de la elasticidad 0.22 de la especificación 6 estimada por GMM en sistemas.

productividad total de los factores explicarían una importante parte de las diferencias de ingreso y crecimiento del producto de los países, el desarrollo del sector de I+D aparece como clave para afectar las sendas de desarrollo de las economías.

Cuadro 9: Impacto de I+D sobre productividad: Resultados con Estimadores Alternativos (1)

A. ESTIMACIÓN GMM EN SISTEMAS													
	Ln(PTF(-1))	Ln(I+D)	Apertura	IED/GDP	Inestabilidad Macro	Credito a Privados	Obs.	N	Sargan	Inst.	AR2	AR3	Elast. LP
(1)	0.756 (0.111)***	0.029 (0.013)**	-	-	-	-	261	65	0.121	34	0.157	0.422	0.12
(2)	0.814 (0.097)***	0.024 (0.010)**	0.089 (0.047)*	-	-	-	235	58	0.287	48	0.190	0.600	0.13
(3)	0.846 (0.106)***	0.026 (0.011)**	-	0.910 (0.451)**	-	-	252	64	0.345	48	0.228	0.464	0.17
(4)	0.895 (0.068)***	0.017 (0.010)*	-	-	-0.082 (0.039)**	-	245	59	0.234	48	0.198	0.424	0.16
(5)	0.896 (0.088)***	0.015 (0.011)	-	-	-	-0.032 (0.026)	233	57	0.394	48	0.163	0.620	0.14
(6)	0.884 (0.087)***	0.025 (0.012)**	0.183 (0.094)*	-0.310 (0.409)	-0.014 (0.089)	-0.014 (0.057)	224	56	0.567	42	0.411	0.896	0.22

B. ESTIMACIÓN POR MÍNIMOS CUADRADOS ORDINARIOS													
	Ln(PTF(-1))	Ln(I+D)	Apertura	IED/GDP	Inestabilidad Macro	Credito a Privados	Obs.	N	Sargan	Inst.	AR2	AR3	Elast. LP
(1)	0.941 (0.018)***	0.007 (0.003)***	-	-	-	-	261	65	-	-	-	-	0.12
(2)	0.933 (0.021)***	0.011 (0.003)***	0.069 (0.021)***	-	-	-	235	58	-	-	-	-	0.16
(3)	0.936 (0.018)***	0.008 (0.003)***	-	0.468 (0.235)**	-	-	252	64	-	-	-	-	0.13
(4)	0.939 (0.019)***	0.004 (0.003)	-	-	-0.116 (0.033)***	-	245	59	-	-	-	-	0.07
(5)	0.947 (0.020)***	0.005 (0.003)	-	-	-	0.001 (0.015)	233	57	-	-	-	-	0.09
(6)	0.928 (0.021)***	0.009 (0.003)***	0.065 (0.022)***	0.087 (0.215)	-0.073 (0.034)**	0.003 (0.017)	224	56	-	-	-	-	0.13

C. ESTIMACIÓN POR EFECTOS FIJOS													
	Ln(PTF(-1))	Ln(I+D)	Apertura	IED/GDP	Inestabilidad Macro	Credito a Privados	Obs.	N	Sargan	Inst.	AR2	AR3	Elast. LP
(1)	0.629 (0.045)***	0.032 (0.008)***	-	-	-	-	261	65	-	-	-	-	0.09
(2)	0.618 (0.050)***	0.030 (0.009)***	0.088 (0.046)*	-	-	-	235	58	-	-	-	-	0.08
(3)	0.623 (0.047)***	0.031 (0.008)***	-	0.314 (0.191)	-	-	252	64	-	-	-	-	0.08
(4)	0.616 (0.049)***	0.033 (0.009)***	-	-	-0.005 (0.040)	-	245	59	-	-	-	-	0.09
(5)	0.632 (0.053)***	0.028 (0.010)***	-	-	-	-0.007 (0.022)	233	57	-	-	-	-	0.08
(6)	0.628 (0.055)***	0.029 (0.011)***	0.080 (0.056)	0.207 (0.208)	0.011 (0.057)	-0.016 (0.030)	224	56	-	-	-	-	0.08

Fuente: Estimaciones del Autor.

Nota: Los datos se encuentran promediados por períodos de cinco años. Las regresiones incluyen dummies temporales y una constante, que no son reportados. Errores estándares robustos en paréntesis. \* Significativo al 10%; \*\* Significativo al 5%; \*\*\* Significativo al 1%.

Cuadro 10: Impacto de I+D per capita sobre productividad: Resultados con Estimadores Alternativos (2)

A. ESTIMACIÓN GMM EN SISTEMAS													
	Ln(PTF(-1))	Ln(I+D pc)	IFS Apertura	IED/GDP	Inestabilidad Macro	Credito a Privados	Obs.	N	Sargan	Inst.	AR2	AR3	Elast. LP
(1)	0.847 (0.101)***	0.034 (0.011)***	-	-	-	-	261	65	0.192	34	0.168	0.440	0.22
(2)	0.802 (0.097)***	0.023 (0.011)**	0.072 (0.047)	-	-	-	235	58	0.273	48	0.164	0.639	0.12
(3)	0.852 (0.072)***	0.031 (0.012)***	-	0.883 (0.509)*	-	-	252	64	0.383	48	0.272	0.457	0.21
(4)	0.817 (0.084)***	0.029 (0.011)**	-	-	-0.071 (0.042)*	-	245	59	0.239	48	0.218	0.370	0.16
(5)	0.855 (0.070)***	0.028 (0.010)***	-	-	-	-0.030 (0.018)	233	57	0.283	48	0.247	0.597	0.19
(6)	0.831 (0.093)***	0.033 (0.016)*	0.046 (0.052)	0.033 (0.251)	-0.074 (0.061)	-0.030 (0.046)	224	56	0.783	42	0.519	0.687	0.20

B. ESTIMACIÓN POR MÍNIMOS CUADRADOS ORDINARIOS													
	Ln(PTF(-1))	Ln(I+D pc)	IFS Apertura	IED/GDP	Inestabilidad Macro	Credito a Privados	Obs.	N	Sargan	Inst.	AR2	AR3	Elast. LP
(1)	0.893 (0.023)***	0.019 (0.004)***	-	-	-	-	261	65	-	-	-	-	0.18
(2)	0.903 (0.025)***	0.017 (0.004)***	0.039 (0.021)*	-	-	-	235	58	-	-	-	-	0.18
(3)	0.892 (0.023)***	0.019 (0.004)***	-	0.390 (0.211)*	-	-	252	64	-	-	-	-	0.18
(4)	0.896 (0.025)***	0.015 (0.004)***	-	-	-0.084 (0.035)**	-	245	59	-	-	-	-	0.14
(5)	0.898 (0.025)***	0.019 (0.004)***	-	-	-	-0.012 (0.013)	233	57	-	-	-	-	0.19
(6)	0.897 (0.026)***	0.015 (0.005)***	0.042 (0.020)**	0.132 (0.213)	-0.059 (0.039)	0.001 (0.017)	224	56	-	-	-	-	0.15

C. ESTIMACIÓN POR EFECTOS FIJOS													
	Ln(PTF(-1))	Ln(I+D pc)	IFS Apertura	IED/GDP	Inestabilidad Macro	Credito a Privados	Obs.	N	Sargan	Inst.	AR2	AR3	Elast. LP
(1)	0.617 (0.045)***	0.036 (0.008)***	-	-	-	-	261	65	-	-	-	-	0.09
(2)	0.607 (0.050)***	0.034 (0.009)***	0.085 (0.046)*	-	-	-	235	58	-	-	-	-	0.09
(3)	0.612 (0.047)***	0.035 (0.008)***	-	0.293 (0.189)	-	-	252	64	-	-	-	-	0.09
(4)	0.603 (0.049)***	0.037 (0.009)***	-	-	0.004 (0.040)	-	245	59	-	-	-	-	0.09
(5)	0.618 (0.053)***	0.032 (0.009)***	-	-	-	-0.007 (0.022)	233	57	-	-	-	-	0.08
(6)	0.615 (0.055)***	0.034 (0.011)***	0.076 (0.056)	0.198 (0.206)	0.024 (0.057)	-0.020 (0.030)	224	56	-	-	-	-	0.09

Fuente: Estimaciones del Autor.

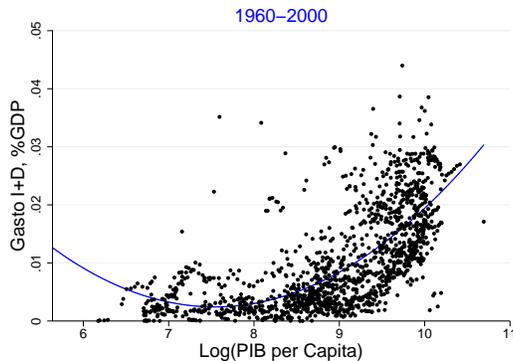
Nota: Los datos se encuentran promediados por períodos de cinco años. Las regresiones incluyen dummies temporales y una constante, que no son reportados. Errores estándares robustos en paréntesis. \* Significativo al 10%; \*\* Significativo al 5%; \*\*\* Significativo al 1%.

## Capítulo 2: ¿Qué mueve al gasto en I+D?

Como se mostró en el capítulo anterior, el gasto en I+D es una variable que puede contribuir a predecir la productividad futura de los países. Comprender los factores que determinan la inversión en el sector de investigación y desarrollo se torna por tanto en una cuestión de relevancia.

Tal como muestra la figura 1, el gasto en I+D ha mostrado una alta heterogeneidad entre países y a lo largo del tiempo en torno al valor que podría ser atribuido a diferencias de recursos.<sup>29</sup> Pese a la evidente correlación positiva entre gasto en I+D y el ingreso per capita de los países, existe una considerable dispersión de las observaciones en torno al monto de inversión en I+D predicho por el nivel de ingreso.

Figura 1: Dispersión del gasto en Investigación y Desarrollo



*Fuente:* Construcción del Autor en base a (Lederman y Maloney 2003).

*Nota:* Las variables se encuentran expresadas en términos reales y en paridad de poder de compra

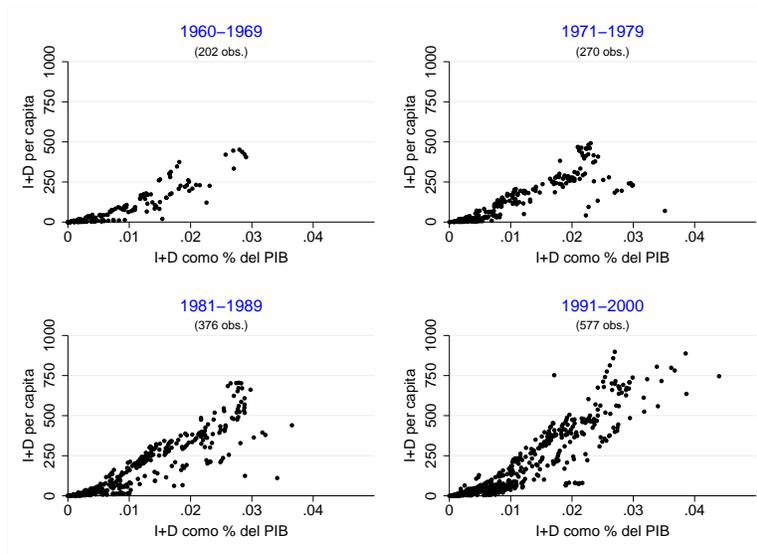
---

<sup>29</sup>La línea azul de la figura muestra al ajuste predicho por una regresión lineal simple entre el logaritmo del ingreso per capita y el logaritmo del ingreso per capita al cuadrado sobre el gasto en investigación y desarrollo como porcentaje del producto. Esta relación no lineal entre gasto en I+D e ingreso per capita fue descrita con anterioridad por Lederman y Maloney (2003). Para más información sobre las fuentes de las series, ver cuadro A.2

La alta dispersión de gasto en I+D entre países no es sólo un fenómeno de corte transversal, ni tampoco es particular a algún indicador de actividad innovativa. En la figura 2 se muestran las combinaciones de gasto en I+D como porcentaje del PIB y en términos per capita por países para el período 1960-2000,<sup>30</sup> desagregando la información por décadas. Por medio de esta figura se desea ilustrar dos situaciones.

1. **El rango de variación del gasto en I+D (tanto en términos de población como de producto) se ha ido ampliando en el tiempo, lo cual se explicaría por un grupo de países que han realizado mejoras significativas en su actividad innovativa durante las últimas décadas.** A pesar de que no se cuenta con información de gasto en I+D para todos los países para el período completo, las nuevas observaciones en cada década se encontrarían asociadas en promedio a gastos en I+D menores al de las observaciones existentes<sup>31</sup>. Esto permitiría concluir que la ampliación del rango de variación del gasto en I+D correspondería, al menos en parte, a países que estarían realizando incrementos significativos en su actividad innovativa.

Figura 2: Dispersión del gasto en I+D por Décadas



Fuente: Construcción del Autor.

2. **Pese a la evidente correlación entre ambas variables de I+D, existe un amplio grado de variación en los recursos destinados por persona**

<sup>30</sup> Ambas variables se encuentran expresadas en términos reales y en paridad de poder de compra (PPP)

<sup>31</sup> Este último ejercicio no se presenta para no hacer tediosa la exposición

a investigación y desarrollo, especialmente en países que gastan una mayor parte de su producto en este sector. Esto último sugeriría la existencia de países con disímiles niveles de ingresos per capita realizando esfuerzos innovativos similares (entendido como la proporción del producto destinado a I+D).

La gran heterogeneidad en las trayectorias seguidas por los países puede observarse en los cuadros A.4 a A.5 del apéndice, en los cuales se computa el gasto en I+D por décadas, escalado tanto por el producto interno bruto como por la población de los países. Destacan los casos de Israel, Finlandia, Corea del Sur, Taiwán, Suecia, Islandia, Singapur y Dinamarca, quienes al menos han triplicado su gasto como proporción del producto en las últimas tres décadas (ver resumen principales alzas por décadas en cuadro 11). Este patrón también se observa parcialmente en India y China en las décadas de 1980 y 1990.<sup>32</sup> En contraste, tal como revela el cuadro 12, Estados Unidos, Reino Unido, Alemania, Canadá y Francia, han experimentado caídas considerables por algunos años en su esfuerzo innovativo, a pesar de haber mantenido trayectorias en torno al 2%. Este cuadro muestra además a un número no despreciable de otras economías que han experimentado significativas y persistentes contracciones en su actividad innovativa en las últimas décadas. Bulgaria y Hungría, por ejemplo, vieron como su gasto en I+D se desplomó en casi 2% de su producto entre las décadas de 1970 y 1990, al igual que Egipto y Argentina, quienes sufrieron fuertes disminuciones también en las décadas de 1970 y 1980.

Cuadro 11: Diez mayores alzas por décadas

País	$\Delta(60s-70s)$	País	$\Delta(70s-80s)$	País	$\Delta(80s-90s)$	País	$\Delta(90s-00s)$
Hungría	0.94 %	Israel	1.17 %	Corea S.	1.05 %	Israel	1.67 %
Israel	0.74 %	Suecia	1.02 %	Islandia	0.98 %	Islandia	1.28 %
Suiza	0.50 %	Corea S.	0.87 %	Finlandia	0.98 %	Finlandia	0.87 %
Ecuador	0.50 %	Austria	0.76 %	Suecia	0.78 %	Singapur	0.77 %
Japón	0.46 %	Finlandia	0.69 %	Singapur	0.74 %	Dinamarca	0.66 %
Bélgica	0.38 %	Pakistán	0.69 %	Taiwan	0.73 %	Suecia	0.57 %
Suecia	0.37 %	Japón	0.68 %	Dinamarca	0.59 %	China	0.54 %
Zambia	0.34 %	Kuwait	0.54 %	Irlanda	0.46 %	Marruecos	0.34 %
Argentina	0.33 %	Alemania	0.49 %	Australia	0.40 %	Malasia	0.33 %
Noruega	0.26 %	Singapur	0.45 %	Iran	0.31 %	Rusia	0.27 %

*Fuente:* Construcción del Autor.

*Nota:* Para cada país  $\Delta(x-y)$  representa la diferencia entre el gasto en I+D promedio realizado en la década  $y$  y el gasto en I+D promedio de la década  $x$ .

<sup>32</sup>Parte de estas trayectorias de crecimiento acelerado del gasto en I+D fueron detectadas por Lederman y Maloney (2003). En su trabajo, señalan a Israel, Finlandia, Corea del Sur, Taiwán, India y China, como países que han mostrando niveles de actividad innovativa consistentemente superiores a lo que predeciría sus niveles de desarrollo (ver Figura 1b de Lederman y Maloney, 2003)

Cuadro 12: Diez mayores caídas por décadas

País	$\Delta(60s-70s)$	País	$\Delta(70s-80s)$	País	$\Delta(80s-90s)$	País	$\Delta(90s-00s)$
EE.UU.	-0.53 %	Egipto	-0.73 %	Bulgaria	-1.72 %	Rep.Eslov.	-0.60 %
Tailandia	-0.49 %	Argentina	-0.55 %	Hungría	-1.45 %	Rumania	-0.27 %
Reino Unido	-0.25 %	Hungría	-0.54 %	Rusia	-1.08 %	Sudán	-0.12 %
Canadá	-0.18 %	Ecuador	-0.37 %	El Salvad.	-0.81 %	Macedonia	-0.11 %
Madagascar	-0.17 %	Jordania	-0.26 %	Pakistán	-0.78 %	Holanda	-0.10 %
Malta	-0.15 %	Nigeria	-0.20 %	Polonia	-0.66 %	Reino U.	-0.08 %
Francia	-0.14 %	Bulgaria	-0.13 %	Kuwait	-0.64 %	Filipinas	-0.08 %
Pakistán	-0.12 %	Malta	-0.12 %	Rep.Eslov.	-0.57 %	Francia	-0.07 %
Polinesia Fr	-0.04 %	Mauritius	-0.08 %	Alemania	-0.36 %	Bolivia	-0.05 %
Sudán	-0.02 %	Tailandia	-0.07 %	Ecuador	-0.32 %	Kyrgyz Rep.	-0.03 %

*Fuente:* Construcción del Autor.

*Nota:* Para cada país  $\Delta(x - y)$  representa la diferencia entre el gasto en I+D promedio realizado en la década  $y$  y el gasto en I+D promedio de la década  $x$ .

Los distintos patrones de evolución del gasto en I+D abre un gran número de preguntas, entre estas: ¿Es el gasto en I+D un reflejo únicamente de la riqueza de los países? ¿Invierten los países ricos proporcionalmente más que los países pobres? ¿Hasta que punto condiciones como nivel educativo, profundidad financiera, volatilidad de las economías y protección de los derechos de propiedad condiciona el gasto en I+D de los países? ¿Afecta la apertura y la transferencia de tecnología extranjera incorporada a la inversión en I+D observada? ¿La inversión en I+D es complemento, sustituto o no se encuentra relacionado con factores como trabajo, inversión y gasto de gobierno?

En este capítulo se evalúa, a nivel de países, la contribución de factores de política, como también económicos, tras las dispares intensidades de gasto en I+D observadas. La información utilizada incluye a un amplio grupo de países, tanto industriales como en vías de desarrollo para el período 1960-2000. Al igual que en el capítulo anterior, la metodología considera la estimación mediante *System-GMM*, procedimiento consistente en paneles dinámicos y en presencia de variables explicativas endógenas.

La contribución de este capítulo a la literatura consiste en proveer una revisión exhaustiva de la significancia y magnitud de las variables que determinarían los niveles de gasto en I+D realizado por los países. Para ello, se utiliza una amplia muestra de datos, tanto en término de periodo como de países cubiertos. Esto último hace que los resultados encontrados en este trabajo posean una mayor relevancia por sobre aquellos de los estudios previos. Pese a que la mayor parte de los resultados son consistentes con la literatura previa, vale la pena recalcar la relevancia de algunos de ellos: (i) El gasto en I+D se encontraría fuertemente correlacionado a la riqueza de los países. En efecto, la elasticidad ingreso encontrada sugiere que los países, en la medida que son más ricos, incrementan su actividad innovativa más que proporcionalmente en relación al diferencial de ingresos, (ii) se encuentra un importante rol del grado de desarrollo de los mercados financieros en la actividad innovativa observada, y (iii) la apertura, y la inversión en capital físico no se encontrarían relacionadas significativamente al gasto en I+D.

A lo largo de este capítulo se contempla como indicador de investigación y desarrollo a la intensidad de la I+D, medido como el gasto agregado en este sector como proporción del PIB, así como en términos per capita. A pesar de que la literatura se centra en el estudio de los determinantes de la primera medida, en este capítulo se agrega la segunda por cuatro razones. En primer lugar, tal como se mostró en la figura 2, pese a encontrarse correlacionadas existe un amplio grado de dispersión entre ambas variables. Segundo, al ser la población más estable que el producto, al escalar por la primera de estas variables es posible evaluar de forma más precisa las variaciones de los recursos reales destinados a I+D. Tercero, tal como se mostró en el capítulo anterior, la evidencia no puede rechazar la hipótesis de simultaneidad entre I+D y PTF para el caso de I+D como proporción del PIB, mientras que para el caso de I+D per capita los resultados sugieren causalidad unidireccional en el sentido de Granger desde PTF a productividad. Por último, utilizar ambas variables de innovación proporciona una prueba natural de robustez a los resultados encontrados.

El resto del capítulo se estructura del siguiente modo. En la siguiente sección se discuten los principales factores que podrían afectar la variación del gasto en I+D y se discuten algunos resultados previos. En la segunda sección se presenta el modelo empírico utilizado, mientras que en la tercera sección se describe las principales fuentes de datos. En la cuarta sección se presentan los resultados. En la sección final, por último, se concluye con un resumen de los principales resultados.

## 2.1. Factores que podrían afectar al gasto en I+D

Tal como muestran Jones y Williams (1998), las características de los mercados afectarían los recursos asignados al sector de I+D, al determinar los retornos sociales involucrados. Partiendo del marco teórico que entrega este artículo virtualmente cualquier factor que afecte los beneficios o costos de la inversión del sector de I+D podría mostrar una relación con gasto en este sector.

Sin embargo, para evitar que la inclusión de variables parezca *ad-hoc*, se fundamenta la inclusión de cada uno de los factores contrastados en este trabajo revisando los canales por medio de los cuales estas variables podrían afectar al gasto en I+D. Con fines expositivos, se dividen los posibles determinantes en dos grupos. En el primero de ellos, se analizan variables que tienen su base teórica en la literatura de crecimiento endógeno basado en ideas y conocimiento<sup>33</sup>. En el segundo grupo, en tanto, se incluye a variables cuyo fundamento se encuentra en la teoría microeconómica tradicional. El interés empírico en estos factores reside mayormente en determinar la relación de complementariedad o sustitución con los recursos destinados al sector de I+D.

---

<sup>33</sup>Ver los trabajos seminales de Romer (1990), Grossman y Helpman (1991) y Aghion y Howitt (1992)

### 2.1.1. Determinantes del I+D en modelos de crecimiento endógeno

La literatura de crecimiento endógeno que sigue a Romer (1990), Grossman y Helpman (1991) y Aghion y Howitt (1992) sugiere un número importante de variables que podrían afectar a la intensidad observada de gasto en I+D. En general, en estos modelos existe un continuo de bienes intermedios, cada uno de los cuales corresponde a nuevas variedades, calidades o tipos de bienes. Las innovaciones generadas en la economía se supone que dependen de los recursos puestos en el sector de investigación y desarrollo.

En los primeros modelos de crecimiento endógeno basados en conocimiento no se considera de forma satisfactoria el impacto de un número importante de factores que podrían afectar al crecimiento de la economía a través de su efecto en el sector de I+D. Estudios posteriores se han preocupado de incorporar parte de estos elementos, entre ellos: derechos de propiedad (Horii y Iwaisako 2007), integración comercial y financiera (Rivera-Batiz y Romer 1991) y desarrollo de los mercados financieros (Aghion, Howitt, y Mayer-Foulkes 2005). A continuación se describen la relación de cada uno de estos factores con I+D:

- **CAPITAL HUMANO:** En estos modelos, el sector de investigación y desarrollo de productos es intensivo en *capital humano*, por lo cual el nivel de esta variable debería encontrarse correlacionado positivamente con el gasto en I+D. La racionalidad de esto último reside en el hecho de que trabajadores con mejores habilidades aumentan la probabilidad de que el proceso innovativo culmine con un producto económicamente valioso, al mismo tiempo que permiten absorber de una forma más eficiente las tecnologías generadas en otras partes. En efecto los modelos de Romer (1990), Grossman y Helpman (1991) y Aghion y Howitt (1992) de alguna u otra forma determinan una relación directa entre el capital humano del sector de investigación con nuevas variedades o tipos de productos. Apoyando lo anterior, Acemoglu (1998) muestra que una mayor proporción de trabajadores educados fomentaría el cambio tecnológico intensivo en capital humano (*skill-biased*), el cuál estaría asociado a un mayor desarrollo de los sectores de I+D.
- **DERECHOS DE PROPIEDAD:** Los modelos básicos de crecimiento endógeno no modelan de forma satisfactoria la relación entre derechos de propiedad y actividad del sector de I+D. En Romer (1990) y Aghion y Howitt (1992), por ejemplo, en lugar de incorporar el rol de los derechos de propiedad en sus modelos, se asume que todas las empresas tienen acceso al stock de conocimiento vigente, lo cual repercute en que en estos modelos los innovadores exitosos no son capaces de apropiarse por completo del producto de su esfuerzo.<sup>34</sup>

---

<sup>34</sup>Para que tenga sentido realizar innovación en estos modelos, se asume que el innovador exitoso adquiere derecho monopólico sobre el bien inventado por siempre (Romer 1990), o hasta que un nuevo bien lo reemplaze (Aghion y Howitt 1992)

Pese a que, intuitivamente, derechos de propiedad más fuertes proveen mayores incentivos a innovar, en la práctica existen algunos matices en la relación de esta variable con la cantidad de recursos destinados a I+D. Derechos de propiedad más fuertes en sectores monopólicos impide que los potenciales entrantes -sin la experiencia ni conocimiento del incumbente- puedan producir bienes superiores a partir del original, lo cual debería afectar en forma negativa a la actividad innovativa agregada.<sup>35</sup> Por otro lado, mejores derechos de propiedad en sectores competitivos aumenta los incentivos de los investigadores a crear nuevos bienes o mejoras de bienes existentes para así gozar de los beneficios que entrega las patentes de la invención. Horii y Iwaisako (2007) incorporan los elementos anteriores en un modelo de crecimiento basado en Grossman y Helpman (1991), y muestra que derechos de propiedad muy fuertes disminuyen la actividad innovativa y el crecimiento, mientras que una protección moderada de los derechos de propiedad es necesaria para que los investigadores tengan los incentivos necesarios para innovar. En definitiva, el impacto de derechos de propiedad más fuertes sobre la actividad innovativa es ambiguo y dependerá tanto de su magnitud, como de la estructura de la economía.<sup>36</sup>

- APERTURA: En modelos de crecimiento endógeno el comercio internacional afecta positivamente los incentivos a innovar por distintas razones. En primer lugar, en economías más abiertas el beneficio esperado de innovar es mayor, pues el tamaño del mercado objetivo con el cual pueden comerciar las potenciales nuevas ideas o bienes aumenta. Por otro lado, la apertura comercial permite acceder al conocimiento generado en otras partes del mundo (*spillovers* de conocimiento), teniendo un impacto favorable sobre la I+D doméstica al incrementar la productividad de los recursos invertidos en este sector (Rivera-Batiz y Romer 1991)<sup>37</sup>.

El problema de gran parte de estos modelos es que suponen simetría entre países, lo cual ignora otros elementos que podrían llevar a un efecto negativo sobre los recursos invertidos en el sector de I+D. En efecto, Devereux y Lapham (1994) muestran que si los países no son idénticos y difieren en sus *stocks* iniciales de conocimiento, es posible que el comercio en bienes cree incentivos para que los trabajadores y los recursos en la economía con menor stock de conocimiento se

---

<sup>35</sup>Es importante recalcar que en sectores monopólicos, el incumbente no tendrá incentivos a realizar innovaciones, pues al crear un nuevo producto pierde el producto de su esfuerzo innovativo anterior. Este es el conocido efecto *Arrow* presente en los modelos de crecimiento endógeno que siguen la tradición *Schumpeteriana* de destrucción creativa. Por tanto, en sectores monopólicos los esfuerzos innovativos serán realizados por los potenciales entrantes.

<sup>36</sup>La relación entre competencia e innovación ha sido analizado por un importante número de autores. Ver la literatura que sigue el trabajo de Aghion, Harris, Howitt, y Vickers (2001)

<sup>37</sup>La idea de que el I+D es más productivo mientras más abiertas son las economías ha sido explotado por la literatura empírica que estudia la existencia y magnitud de *spillovers* derivados del comercio en el I+D. Para más detalles, ver la literatura que sigue a Coe y Helpman (1995)

dejen de destinar a investigación y se especialicen en la producción de bienes, disminuyendo el gasto agregado en I+D. Tomando en cuenta todos estos efectos, el impacto de la apertura debiera ser ambiguo. Es posible que el signo de la correlación dependa de la distancia del país a la frontera tecnológica.

- **INVERSIÓN EXTRANJERA DIRECTA Y *royalties* PAGADOS:** Estos factores actuarían por medio de mecanismos similares sobre el gasto en I+D que la apertura, capturando la transferencia de tecnología. Tal como sugiere Rivera-Batiz y Romer (1991) ambas variables tendrían asociados flujos de conocimiento e ideas entre países, lo cual a su vez afectaría tanto al crecimiento como a la actividad del sector de I+D. Estos autores muestran que la integración por medio de flujo de ideas tendría efectos similares a la apertura comercial de bienes al generar los mismos *spillovers* de conocimiento. Sin embargo, por las mismas razones del caso de apertura comercial, la IED y el flujo de *royalties* tendrían un efecto ambiguo sobre la actividad innovativa observada.
- **DESARROLLO DE LOS MERCADOS FINANCIERO:** Esta variable es considerada como resultado de la influencia del artículo de Aghion, Howitt, y Mayer-Foulkes (2005).<sup>38</sup>. Esto autores consideran un modelo *Schumpeteriano* multi-país con transferencia de tecnología en el que, como resultado del problema de agencia existente en el sector de innovación, surgen restricciones financieras que repercuten en una sub-provisión de financiamiento a las actividades de I+D.<sup>39</sup> Una de las principales conclusiones de dicho artículo es que, cuando los mercados financieros se encuentran más desarrollados con acreedores mejor protegidos, los innovadores disponen de mayor crédito, lo cual incrementa tanto los recursos invertidos en el sector como la probabilidad de éxito de los proyectos.<sup>40</sup>

### 2.1.2. Otras variables que podrían mostrar correlación con I+D

Entre los factores que podrían mostrar algún tipo de relación con el gasto en I+D, pueden mencionarse factores productivos como *stock* e inversión de capital físico y los

---

<sup>38</sup>Este artículo tiene una fuerte influencia de trabajos que estudian la relación entre desarrollo de los mercados financieros y crecimiento de largo plazo. Para más detalles de esta literatura, ver, por ejemplo, Greenwood y Jovanovic (1990), Bencivenga y Smith (1991), de la Fuente y Marin (1996) o Greenwood y Smith (1997)

<sup>39</sup>La sub-provisión de financiamiento se justifica por la interrelación de al menos tres elementos. En primer lugar, el producto del proceso innovativo es incierto, pues no existen fórmulas que garanticen la producción de nuevos bienes o ideas económicamente valiosas. Segundo, parte de los activos generados no son tangibles (conocimiento, experiencia), por lo que no se cuenta con suficiente colateral para pedir préstamos. Por último, la existencia de riesgo moral impide a los innovadores comprometerse de manera creíble a pagar los préstamos otorgados por el sistema financiero (Aghion, Howitt, y Mayer-Foulkes 2005).

<sup>40</sup>Operacionalmente, estos autores modelan el problema de agencia permitiendo la posibilidad de que los innovadores puedan esconder los resultados de los proyectos innovativos a los acreedores.

recursos colocados por los gobiernos. Además, se espera que el ingreso y la volatilidad del crecimiento de las economías se relacionen significativamente con el gasto en I+D.

- **INGRESO:** A menos que el gasto en I+D represente un bien inferior para las economías, la teoría microeconómica predice una relación positiva entre el nivel de ingreso y el gasto en I+D. En efecto, países más ricos poseen una mayor cantidad potencial de recursos para comprometer en actividades de I+D. En caso de que el consumo en actividades de investigación y desarrollo represente un bien superior (de lujo) para los países, el consumo del mismo debiese aumentar (más que proporcionalmente) ante un incremento del nivel de ingreso.

Apoyando lo anterior, y desde un punto de vista empírico, Lederman y Maloney (2003) describen la existencia de una fuerte relación positiva entre gasto en I+D e ingreso per capita de los países. La relación positiva entre gasto en I+D y nivel de desarrollo puede apreciarse en la figura 1, para el caso en que el gasto en I+D se encuentra escalado por producto, y en la figura A.2 del anexo para el caso en que la variable de innovación se encuentra escalada por población.

- **INVERSIÓN:** El capital físico y el gasto I+D podrían resultar complementos o sustitutos, por lo que el signo de la correlación entre inversión e I+D será ambiguo. Tal como comenta Bebczuk (2002), la nueva tecnología generada por las actividades de I+D típicamente se encuentra incorporada en el capital físico (ya sea producido en la economía doméstica, o importado del resto del mundo), volviendo más rentable la inversión en estos bienes. Además, las inversiones en capital físico en ocasiones requieren de gasto en I+D para adaptarlo a las necesidades locales. Sin embargo, el capital también podría resultar ser un sustituto del gasto en I+D, en cuyo caso la correlación sería negativa. Por ejemplo, si las actividades de I+D poseen sustanciales costos fijos<sup>41</sup>, entonces países lejanos a la frontera tecnológica podrían escoger invertir en capital físico inventado en otras partes del mundo en lugar de embarcarse en actividades de I+D.
- **ROL DEL GOBIERNO:** En la práctica, el gobierno se involucra en el sector de I+D financiándolo, o comprometiéndose directamente en el proceso productivo.
  - El financiamiento de las actividades de I+D afectaría positivamente la decisión de los innovadores de cuánto invertir modificando sus utilidades esperadas, ya sea disminuyendo los costos (por medio de incentivos tributarios, por ejemplo), o incrementado los beneficios (subsidios directos)<sup>42</sup>. Sin embargo, si los privados utilizan los recursos para financiar actividades de investigación y desarrollo de productos que de todos modos iban a ser

---

<sup>41</sup>Ejemplo: Acumulación de experiencia, conocimiento tácito, etc.

<sup>42</sup>Ver David, Hall, y Toole (2000)

realizadas, la ayuda del gobierno no tendría efecto sobre el I+D privado observado.<sup>43</sup>

- Coincidentemente, la investigación y desarrollo realizado por el sector público tiene también un impacto ambiguo sobre la I+D total. En efecto, el gasto en I+D público podría desplazar al gasto privado si existe escasez y ambos sectores terminan compitiendo por los recursos, o podría fomentarlo en caso que el I+D público resultase complemento del I+D privado. David, Hall, y Toole (2000) muestran que el I+D realizado por el gobierno podría generar sustanciales beneficios sociales, en forma de *spillovers* derivados del conocimiento y del entrenamiento realizado, fomentando por tanto la actividad innovativa de los privados. En ocasiones, el I+D público podría fomentar I+D privado al estar orientado a solucionar las fallas de información, explorando las oportunidades de negocios más rentables.
- INCERTIDUMBRE: Considerando que las actividades de I+D son extremadamente riesgosas e inciertas, el factor de descuento aplicado en ambientes con mayor volatilidad debería ser mayor, lo cual incidiría en una relación negativa entre incertidumbre y gasto en I+D. La incertidumbre, reforzada con mercados financieros poco desarrollados podría resultar un desincentivo para que los innovadores se embarcaran en actividades de I+D.
- FUERZA LABORAL: Por último, países con mayor población tendría también una mayor demanda cautiva, lo que incrementaría los beneficios esperados de innovar en el mercado doméstico.

## 2.2. Resultados Previos

La literatura que ha estudiado los determinantes del gasto en I+D es pequeña, y en general sufre de problemas metodológicos y de muestra. Los estudios de Guellec y Pottelsberghe (2000), Varsakelis (2001), Bebczuk (2002), Lederman y Maloney (2003) y Falk (2006) son, hasta donde llega el conocimiento de este estudio, los únicos que han intentado evaluar de forma amplia el rol de los determinantes del I+D, sin enfocarse en el rol de algún determinante en particular. A continuación, se presenta un resumen de los principales resultados de estos estudios, con un foco en las variables descritas en la sub-sección anterior. Los principales resultados se muestran en la tabla 13.

De los cinco trabajos, el de Guellec y Pottelsberghe (2000) es el que estudia con mayor profundidad el impacto del gasto en I+D público sobre el I+D privado. Utilizando una muestra de 17 países pertenecientes a la OECD para el período 1981-1996, estos autores encuentran que tanto el financiamiento público como los incentivos fiscales tienen un

---

<sup>43</sup>Esto último debiera ser más cierto en el caso de los subsidios que en el de incentivos tributarios.

impacto positivo sobre el gasto en I+D privado. Sin embargo, cuando el financiamiento público del I+D es realizado en universidades o en laboratorios pertenecientes al gobierno, tenderían a desplazar parcialmente gasto en I+D privado. Por último, se encuentra evidencia que sugiere que la efectividad del financiamiento del gobierno aumentaría por arriba de un cierto umbral, para luego decrecer, tomando en el global forma de U invertida. El estudio de Varsakelis (2001), en tanto, se centra en el impacto de mayores derechos de propiedad sobre la actividad innovativa observada. Utilizando un corte transversal de 50 países, encuentra un impacto positivo de los derechos de propiedad sobre el gasto en I+D, mientras que el grado de apertura, aproximado por el premio del tipo de cambio en el mercado negro, no lo afectaría significativamente.

La investigación conducida por Bebczuk (2002), para una muestra de 88 países para las décadas de 1980 y 1990 muestra que la protección de los derechos de propiedad, las exportaciones manufactureras y la profundidad financiera (crédito doméstico como porcentaje del PIB) tendrían un impacto positivo sobre el gasto en I+D como porcentaje del PIB. La inversión en capital físico, en tanto, se relacionaría en forma inversa con el gasto en I+D, sugiriendo que el capital y el gasto en I+D son, en general, sustitutos. La apertura (medida como importaciones más exportaciones como porcentaje del PIB) y la volatilidad del crecimiento se correlacionarían negativamente, aunque en forma débil con el I+D. Por último, la inversión extranjera directa, el porcentaje de enrolamiento a la educación superior y el crecimiento del PIB real no estarían asociados significativamente a mayor gasto en I+D.

Lederman y Maloney (2003) examinan los determinantes del gasto en I+D agregado para un panel de 40 países, durante el período 1960-2000. El ingreso per capita, la profundidad financiera (medida como crédito privado como porcentaje del PIB), los derechos de propiedad, la calidad de las instituciones de investigación, la capacidad del gobierno para mover recursos y la conexión de las instituciones de investigación con el sector privado se relacionarían en forma positiva con el la intensidad de I+D. El crecimiento del PIB como su volatilidad, en tanto, no estarían asociados significativamente a mayor I+D.

Por último, Falk (2006) estudia los determinantes que mueven al I+D privado en los países de la OECD. Utilizando información de 21 países para el período 1990-2002, muestra que los incentivos fiscales tendrían un impacto positivo y significativo sobre el gasto en I+D privado. Además, la I+D realizada en universidades fomentaría el gasto en I+D privado, mientras que los subsidios directos y la proporción de exportaciones con alta tecnología incorporada se encontrarían relacionados positivamente a la intensidad de I+D privada, aunque estos dos últimos factores no serían significativos en todas las especificaciones. Los derechos de propiedad y la apertura de las economías no estaría asociado significativamente a más gasto en I+D en el sector privado.

Cuadro 13: Resumen Principales Resultados de la Literatura

<b>Categoría</b>	<b>Variable Específica</b>	<b>Esperado</b>	<b>Hallazgos</b>
Intensidad de I+D rezagada	I+D/PIB Total (t-1)	+	(+), Led. y Maloney (2003)
	I+D/PIB Privado (t-1)	+	(+), Falk (2006)
	$\Delta$ Log(I+D Privado)	+	(+), Guellec y Van Pottelsberghe (2000)
Producto Interno Bruto	$\Delta$ Log(Valor Agregado en el Sector Privado)	+	(+), Guellec y Van Pottelsberghe (2000)
	Log(PIB per capita Real PPP)	+	(+), Led. y Maloney (2003)
	"	"	(0), Falk (2006)
	Log(PIB pc.Real PPP) cuadr.	+	(0), Falk (2006)
	Crecimiento del PIB real PPP	+	(0), Led. y Maloney (2003)
Profundidad Financiera	Desv.Estándar PIB real PPP	-	(0), Bebczuk (2002)
	"	"	(0), Led. y Maloney (2003)
Subsidios en I+D Directos	Crédito Doméstico (% PIB)	(+)	(+), Bebczuk (2002)
	Crédito Privado (% PIB)	(+)	(+), Led. y Maloney (2003)
I+D del Sector Público	I+D privado Financiado por el gobierno % del PIB	Ambiguo	(0), Falk (2006)
	$\Delta$ Log(I+D privado Financ. por el Gobierno)	Ambiguo	(+), Guellec y Van Pottelsberghe (2000)
Protección Derechos de Propiedad	$\Delta$ Log(I+D en Instalaciones del gobierno)	Ambiguo	(-), Guellec y Van Pottelsberghe (2000)
	$\Delta$ Log(I+D en Instituciones de Ed. Superior)	Ambiguo	(-) o (0), Guellec y Van Pottelsberghe (2000)
	I+D en Instituciones Educación superior, % PIB	Ambiguo	(+), Falk (2006)
Capital Humano	Índice de Propiedad Intelectual de Giniarte Parks	Ambiguo	(+), Varsakelis (2001)
	Log(Índice de Giniarte Parks)	Ambiguo	(+), Led. y Maloney (2003)
	Índice de Respeto de la Ley de Kaufmann et al.	Ambiguo	(0), Falk (2006)
Inversión K	Índice de Respeto de la Ley de Kaufmann et al.	Ambiguo	(+), Bebczuk (2002)
	% de Enrolamiento en ed. superior	(+)	(0), Bebczuk (2002)
Exportaciones Tecnológicas	Años de Escolaridad Promedio	(+)	(0), Falk (2006)
	Inv. en capital físico (% PIB)	Ambiguo	(-), Bebczuk (2002)
Apertura	"	"	(0) o (+), Led. y Maloney (2003)
	X Manufact., % X totales	(+)	(+), Bebczuk (2002)
Inv.Ext.Directa	X de High Tech, % X totales	(+)	(0) o (+), Falk (2006)
	X+M, % PIB	Ambiguo	(-), Bebczuk
Colaboración	"	"	(0), Falk (2006)
	Premio de TCN en M° Negro	Ambiguo	(0), Varsakelis (2001)
Calidad Instituciones de Investigación	Inv.Extr. Directa % PIB	Ambiguo	(0) ó (+), Bebczuk (2002)
	Índice de Colaboración entre empresas y Ues.		(+), Led. y Maloney (2003)
	Índice de calidad de las instit. de investigación científica		(+), Led. y Maloney (2003)

Fuente: Modificado de Falk (2006), pp.537

En resumen, los resultados de los estudios anteriores proporciona evidencia mixta en la mayoría de los determinantes expuestos en el inciso 2.1. Los principales resultados se pueden sintetizar de la siguiente forma:

1. La relación entre gasto en I+D y variables de ingreso y ciclo económico de los países no es demasiado fuerte. Pese a los argumentos teóricos, ninguno de los

autores encuentran evidencia de que el crecimiento del producto, o su volatilidad afecte al sector de I+D. Así mismo, en sólo un estudio se encuentra evidencia de una correlación significativa con el ingreso per capita de los países (Lederman y Maloney 2003).

2. Todos los estudios que consideran el rol del desarrollo de los mercados financieros, encuentran una correlación positiva con el gasto en I+D.
3. Ninguno de los estudios considerados entrega evidencia en contra de los derechos de propiedad como medio para fomentar la actividad innovativa. La ambigüedad teórica no se observa a nivel empírico.
4. La evidencia es mixta en torno al efecto del gobierno en el desarrollo del sector de I+D. El gasto en I+D realizado en instalaciones de gobierno se encontraría correlacionado de forma negativa al gasto total en I+D, mientras que la correlación con el gasto realizado en universidades sería ambigua. Algunos estudios han encontrado que el financiamiento de las actividades de I+D por parte del gobierno fomentaría I+D adicional, mientras otros no encuentran impacto alguno.
5. La apertura, la protección de los derechos de propiedad, el capital humano y la inversión extranjera directa se correlacionarían débilmente con gasto en I+D. Sin embargo, las exportaciones con mayor contenido tecnológico si estarían asociadas a mayor gasto en I+D, capturando tal vez la etapa de transferencia tecnológica de los países.

A pesar del relativo consenso al que llegan los estudios cubiertos en ciertos temas, estos poseen características que difieren ampliamente en varias dimensiones: variables dependientes, período muestral, cobertura de países y metodologías utilizadas. El cuadro 14 muestra un resumen de las principales características de las estimaciones. Los estudios de Varsakelis (2001) y Bebczuk (2002) sufren problemas por muestras pequeñas, y sólo los estudios de Lederman y Maloney (2003) y Falk (2006) utilizan estimadores consistentes en paneles dinámicos. De los cinco estudios, tres coinciden en estudiar los factores de la intensidad del I+D agregado (público más privado), mientras que los otros dos estudian el impacto sobre el gasto en I+D privado. Los períodos muestrales difieren importantemente también, siendo los estudios de Lederman y Maloney (2003) y Falk (2006) los más extensos en período de tiempo. Por último, en cuanto la cobertura de países, sólo los estudios de Lederman y Maloney (2003) y Bebczuk (2002) incluyen países en desarrollo, mientras que Guellec y Pottelsberghe (2000) y Falk (2006) se concentran en países pertenecientes a la OECD. Todos estos deberían ser factores a ser considerados al comparar los resultados obtenidos en este estudio con los reportados anteriormente en la literatura.

Cuadro 14: Resumen Principales Resultados de la Literatura

ESTUDIO	MUESTRA / PERÍODO	MÉTODO DE ESTIMACIÓN	Var.Dep.
<b>Guellec y Van Pottelsberghe (2000)</b>	17 países OECD, panel con datos anuales, período 1981-1996	Estimación OLS de ecuación de Primeras Diferencias	$\Delta \text{Log(I+D Privado)}$
<b>Varsakalis (2001)</b>	50 países, cross-section con información de la década de 1990	OLS	I+D/PIB Agregado
<b>Bebczuk (2002)</b>	88 países, panel de dos períodos con información de la década de 1980 y 1990	Pooled OLS, instrumentalizando con Rezagos de las variables.	I+D/PIB Agregado
<b>Lederman y Maloney (2003)</b>	40 países, panel con promedios de 5 años, período 1960-2000	Estimador GMM de Sistemas	I+D/PIB Agregado
<b>Falk (2006)</b>	17 países OECD, panel con promedios de 5 años, período 1970-2002	Efectos Fijos, Estimador GMM en Primeras Diferencias y en Sistema	I+D/PIB Privado

Fuente: Construcción del Autor.

## 2.3. Modelo Empírico

La estrategia empírica de este estudio se basa en lo propuesto por Lederman y Maloney (2003) y Falk (2006), y considera una especificación en que el gasto en I+D observado converge a su valor deseado mediante un modelo de ajuste parcial:

$$\begin{aligned}
 y_{i,t} - y_{i,t-1} &= \theta(y_{it}^* - y_{i,t-1}) \\
 \Rightarrow y_{i,t} &= (1 - \theta)y_{i,t-1} + \theta y_{it}^*
 \end{aligned}
 \tag{11}$$

donde  $i$ ,  $t$  denotan subíndices individuales y temporales,  $y$  es el valor observado de la variable de I+D utilizada, mientras que  $y^*$  es su valor deseado (óptimo). El parámetro  $\theta$ , en tanto, representa el grado de ajuste en cada período, con  $0 \leq \theta \leq 1$ . Tal como expone Falk (2006), si este parámetro es igual a uno, entonces el ajuste completo se realiza dentro de un período. Se agregan efectos fijos individuales y temporales, para permitir heterogeneidad en dichas dimensiones, además de un término de error variante en el tiempo y entre individuos:

$$y_{i,t} = (1 - \theta)y_{i,t-1} + \theta y_{it}^* + \alpha_i + \lambda_t + \epsilon_{i,t} \tag{12}$$

El gasto en I+D deseado, en tanto, se supone como una función de los determinantes expuestos en la sección 2.1.:<sup>44</sup>

$$y_{i,t}^* = f(\text{Log(PIBpc)}_{i,t}, \text{CrecPIB}_{i,t}, \text{InvK}_{i,t}, \text{ConsGov}_{i,t}, \text{I+D}_{i,t}^{PUB}, \text{TYR}_{i,t}, \text{Log(FzaLab)}_{i,t}, \text{CredDom}_{i,t}, \text{VC}_{i,t}, \text{IPR}_{i,t}, \text{DE(CrecPIB)}_{i,t}, \text{DE(Inflacion)}_{i,t}, \text{Apertura}_{i,t}, \text{Royalties}_{i,t}, \text{IED}_{i,t}) \quad (13)$$

- $\text{Log(PIBpc)}_{i,t}$  y  $\text{CrecPIB}_{i,t}$  denotan al logaritmo del ingreso real (PPP) per capita y al crecimiento promedio anual real (PPP) respectivamente, y reflejan la riqueza y liquidez que los países disponen para gastar en I+D.
- $\text{ConsGov}_{i,t}$  e  $\text{I+D}_{i,t}^{PUB}$  son incluidas para reflejar el rol del gobierno en las actividades de I+D. Mientras la primera variable aproximaría la capacidad del gobierno para movilizar recursos en la economía (ver Lederman y Maloney, 2005), la segunda busca determinar la relación entre I+D total e I+D realizado por el gobierno.
- $\text{TYR}_{i,t}$  es una medida del capital humano general de la población y equivale a los años de educación promedio de la población total.
- $\text{InvK}_{i,t}$  denota a la inversión en capital físico como porcentaje del PIB y busca establecer el grado de complementariedad o sustitución con el gasto en I+D.
- $\text{Log(FzaLab)}_{i,t}$  equivale al logaritmo de la población en edad de trabajar, y se incluye para determinar la posible existencia de efectos de escala.
- $\text{CredDom}_{i,t}$  y  $\text{VC}_{i,t}$  son variables que aproximan la disponibilidad de fuentes alternativas de financiamiento para los innovadores, y equivalen al crédito doméstico como porcentaje del PIB, y a un indicador subjetivo que refleja el desarrollo del mercado de capitales riesgo.
- $\text{IPR}_{i,t}$  corresponde al indicador subjetivo de Park (2002)<sup>45</sup>, y refleja la fortaleza de los derechos de propiedad.
- $\text{DE(CrecPIB)}_{i,t}$  es igual a la desviación estándar del crecimiento del producto, y busca reflejar la volatilidad macro de los países.
- Por último,  $\text{Apertura}_{i,t}$ , equivale a exportaciones más importaciones como porcentaje del PIB,  $\text{Royalties}_{i,t}$ , es igual al gasto en royalties como porcentaje del PIB e  $\text{IED}_{i,t}$  es la inversión extranjera directa recibida como porcentaje del PIB.

---

<sup>44</sup>La elección de las variables específicas utilizadas fue condicionada, en parte, por la disponibilidad de datos. Es así como, por ejemplo, no fue posible contar con variables que reflejaran los subsidios o los incentivos tributarios al gasto en I+D, ni el grado de competencia existente al interior de las economías.

<sup>45</sup>Esta base de datos corresponde a una actualización de la base construida originalmente por Park y Ginarte (1997)

Como se explicó en detalle en la sección 1.1.3. del capítulo anterior, la estimación de la ecuación (12) por MCO y efectos fijos proporciona estimadores que resultarán sesgados e inconsistentes, debido a la existencia del efecto fijo. Para evitar estos problemas, se utiliza el método de Blundell y Bond (1998), el cual combina las condiciones de momentos en la estimación de los parámetros. En la práctica, se estima la ecuación (12) en niveles instrumentalizadas por rezagos de las variables en diferencias, y la ecuación (12) en diferencias instrumentalizada con rezagos de las variables dentro de un sistema. Este estimador es consistente y debiera resultar más eficiente que el estimador consistente sugerido por Arellano y Bond (1991). Los instrumentos utilizados corresponden a rezagos de las variables en niveles y en diferencias, y las estimaciones realizadas contemplan el uso como matriz de ponderadores al inverso de la matriz de varianzas de los momentos, construida en una estimación en dos etapas. Adicionalmente, se aplica la corrección de Windmeijer a los errores estándares de los parámetros en todas las estimaciones. Se reportan aquellas especificaciones en las que el conjunto de instrumentos utilizado pasan los contrastes de Hansen y de autocorrelación de los errores, así como aquellas en que el coeficiente autoregresivo estimado por *System-GMM* se encuentre dentro de la cota de los coeficientes de MCO y de EF. Para ver más detalles acerca de la estimación, ver sección 1.2.2.

## 2.4. Datos

Las fuentes de las variables son variadas, siendo las principales las bases de datos de Lederman y Saenz (2005), Heston, Summers, y Aten (2002), *International Financial Statistics* del FMI, y *World Development Indicators* del Banco Mundial. La información de derechos de propiedad corresponde al índice de derechos de propiedad construido por Park (2002). Este índice considera información de cinco dimensiones con valores entre 0 y 5, que son ponderadas con pesos iguales: cobertura industrial de los derechos de propiedad, membresía en los acuerdos internacionales, restricciones sobre los derechos de propiedad, capacidad de hacer cumplir las leyes y duración de la protección. La variable que mide el desarrollo de los capitales de riesgo, en tanto, es obtenida del *Global Competitiveness Report*, y corresponde a un indicador subjetivo con valores entre 0 y 10, donde valores más cercanos a 10 denotan un mayor desarrollo de los capitales de riesgo. Por último, los años de educación promedio son obtenidos de la base construida por Barro y Lee (2000). Con excepción de la información de derechos de propiedad, y capitales de riesgo, todas las bases de datos de se encuentran disponibles de forma pública (para más detalle, vease el cuadro A.2).

La muestra comprende observaciones de 100 países para el período 1960-2000, las cuales son promediadas por períodos de cinco años para aminorar efectos cíclicos, y para hacer uso de variables como los derechos de propiedad y estadísticas de capital humano, que se encuentran disponibles sólo en forma quinquenal. El cuadro 15 presenta estadísticas

descriptivas de las variables utilizadas. Como se puede apreciar, la muestra incluye países con distintos niveles de riqueza, que van desde los US\$500 de Malawi en el período 1966-70 a los US\$31,000 de Estados Unidos para el quinquenio 1996-2000.

Es importante recalcar que pese a que el número de observaciones varía ampliamente entre variables, las principales estimaciones se realizan utilizando la muestra completa, pues al construir el panel balanceado el tamaño de la muestra disminuye notablemente, con la consiguiente pérdida de grados de libertad que se refleja en estimaciones menos eficientes.

En el cuadro A.6 del apéndice se muestran las correlaciones cruzadas entre las variables que se utilizan en este estudio. La significancia de las correlaciones es calculada utilizando el contraste de Spearman. Como se puede apreciar, la gran mayoría de las variables (con las excepciones del logaritmo de la fuerza laboral y la apertura) presentan fuertes correlaciones significativas con el gasto en I+D, medido tanto en términos de producto como de población. Sin embargo, las variables a ser contrastadas como determinantes también muestran correlaciones significativas entre si, lo cual podría redundar en una menor precisión de los estimadores de los determinantes.

Cuadro 15: Estadística Descriptiva Variables Capítulo 3

	Obs.	Media	Desv.Est.	Mín.	Máx
I+D/PIB	317	0.010	0.009	0.00001	0.037
I+D pc	317	151.3	182.6	0.030	822.8
Ln(I+D pc)	317	3.92	1.85	-3.52	6.71
PIB pc	317	10648	7142	499	31179
Ln(PIB pc)	317	9.00	0.92	6.12	10.41
Crec. PIB	317	0.03	0.02	-0.05	0.11
Inversión K	317	0.20	0.08	0.02	0.50
I+D Público	244	0.29	0.21	0.00	0.96
Cons.Gob.	313	0.16	0.06	0.04	0.38
Escol.Prom.	284	6.31	2.65	0.63	12.25
Ln(Fza.Lab.)	317	16.14	1.52	11.75	20.55
Índice Prop.Int.	244	2.80	0.95	0.33	4.86
Crédito Dom.	300	0.62	0.36	4.0E-02	2.02
Cap.de Riesgo	101	4.949	1.338	2.11	8.17
DE(Crec.PIB)	317	0.030	0.021	0.003	0.12
DE(Inflation)	305	0.003	0.022	3.6E-05	0.32
Apertura	317	0.59	0.41	0.08	3.24
Royalties	266	0.002	0.005	0.000	0.071
FDI	299	0.019	0.031	-0.004	0.340

Fuente: Construcción del Autor. Información en base a datos agrupados.

## 2.5. Resultados

La estimación de los determinantes del gasto en I+D se realiza por partes debido a que al interactuar un gran número de variables, el número de instrumentos de las ecua-

ciones se ve incrementado sustancialmente, lo cual impide a su vez evaluar de manera adecuada la validez de los mismos. Específicamente, se presentan dos grupos de estimaciones para cada variable de I+D. En el primero de ellos se busca establecer la contribución de cada factor por separado al gasto en I+D observado. Posteriormente se presenta un segundo grupo de especificaciones en las que se estiman de forma conjunta los coeficientes de las variables más significativas de la primera etapa. Todas las estimaciones incluyen como controles a la variable dependiente rezagada y al logaritmo del ingreso per capita, además de *dummies* temporales<sup>46</sup>.

Para propósitos de discutir la relevancia de los resultados encontrados se computan los coeficientes de largo plazo de las variables a partir de los parámetros estimados<sup>47</sup>. Además, a excepción que las regresiones con gasto en I+D en términos de producto y per capita presenten resultados distintos, la discusión se organiza en términos generales, sin reparar en todos los detalles de estimaciones similares.

En los cuadros 16 y 17, se estudia la correlación por separado de cada uno de los factores presentados en la sección 2.3. con el gasto en I+D como porcentaje del PIB y con el gasto en I+D per capita respectivamente. Las estimaciones realizadas comparten algunas características.

- En primer lugar, en ninguna especificación se rechaza la validez del conjunto de instrumentos, lo cual se refleja en contrastes de Hansen con *p-values* mayores a los niveles de significancia usuales.
- Segundo, en todas las estimaciones el gasto en I+D muestra un alto grado de persistencia. En efecto, los coeficientes estimados se encontrarían en el rango  $[0,65 - 0,82]$  para el caso en que el I+D se escala por el PIB, mientras que el valor de los parámetros en el caso del gasto en I+D en términos per capita serían algo menores, aunque siempre altamente significativos.
- Tercero, tal como sugieren las figuras 1 y A.2, el ingreso per capita muestra una fuerte correlación con el gasto en I+D, siendo significativo al 1% en más del noventa por ciento de las estimaciones de los cuadros 16 y 17 (en sólo un caso resulta no significativa).

---

<sup>46</sup>Siguiendo a Lederman y Maloney (2003), se incluyó como control a la inversión en capital físico en todas las ecuaciones. De esta forma se esperaba controlar por el costo de oportunidad de la inversión en I+D. este coeficiente nunca resultó significativo por lo que fue excluido de las regresiones finales

<sup>47</sup>En general, si se estima el siguiente modelo dinámico:  $Y_{i,t} = \rho Y_{i,t-1} + \beta X_{i,t} + (\text{otros términos})$ , el coeficiente de largo plazo estimado asociado a la variable  $X$  será igual a  $\hat{\beta}/(1 - \hat{\rho})$ .

Cuadro 16: Determinantes I+D/PIB [I]

System GMM	(1)	(2)	(3)	(4)	(5)	(6)	(7)	(8)	(9)	(10)	(11)
I+D/PIB(-1)	0.672 (0.088)***	0.731 (0.094)***	0.764 (0.080)***	0.814 (0.117)***	0.661 (0.139)***	0.682 (0.094)***	0.65 (0.093)***	0.696 (0.086)***	0.748 (0.090)***	0.683 (0.123)***	0.687 (0.088)***
Log(PIB pc)	0.366 (0.095)***	0.25 (0.063)***	0.347 (0.114)***	0.191 (0.126)	0.167 (0.084)*	0.368 (0.118)***	0.411 (0.113)***	0.272 (0.097)***	0.288 (0.070)***	0.312 (0.086)***	0.448 (0.149)***
Inversión	-0.46 (1.123)	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
Ln(Fza.Lab)	-	0.025 (0.046)	-	-	-	-	-	-	-	-	-
Escol.Prom.	-	-	0.067 (0.030)**	-	-	-	-	-	-	-	-
I+D Público	-	-	-	-0.463 (0.368)	-	-	-	-	-	-	-
Consumo Gob.	-	-	-	1.183 (0.697)*	-	-	-	-	-	-	-
Der. de Prop.	-	-	-	-	0.164 (0.073)**	-	-	-	-	-	-
Crédito a Priv. 0.59	-	-	-	-	-	0.128 (0.129)	-	-	-	-	-
Cap. de Riesgo	-	-	-	-	-	-	0.103 (0.034)***	-	-	-	-
DE(Crec PIB) 0.03	-	-	-	-	-	-	-	-4.76 (5.202)	-	-	-
Apertura (IFS)	-	-	-	-	-	-	-	-	-0.193 (0.129)	-	-
IED / PIB	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-1.242 (1.683)	-
Royalt./ PIB	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-2.111 (4.985)
Observ.	302	318	285	231	244	277	101	317	290	300	266
# Países	80	84	65	60	68	70	48	84	74	83	78
Hansen	0.39	0.377	0.248	0.842	0.425	0.464	0.539	0.502	0.547	0.306	0.617
# Instr.	58	58	58	75	48	58	25	58	58	55	55

Fuente: Estimaciones del Autor.

Nota: La base se encuentra promediada por períodos de cinco años. Las regresiones incluyen dummies temporales y una constante, que no son reportados. Errores estándares robustos en paréntesis. \* Significativo al 10%; \*\* Significativo al 5%; \*\*\* Significativo al 1%.

Cuadro 17: Determinantes I+D per capita [ I ]

System GMM	(1)	(2)	(3)	(4)	(5)	(6)	(7)	(8)	(9)	(10)	(11)
Ln(I+D per cap)	0.616 (0.105)***	0.646 (0.085)***	0.576 (0.105)***	0.496 (0.044)***	0.579 (0.093)***	0.613 (0.084)***	0.650 (0.093)***	0.631 (0.114)***	0.662 (0.092)***	0.616 (0.103)***	0.633 (0.089)***
Log(PIB pc)	1.048 (0.308)***	0.743 (0.206)***	1.001 (0.302)***	0.696 (0.132)***	0.871 (0.229)***	0.910 (0.234)***	0.411 (0.113)***	0.819 (0.228)***	0.818 (0.203)***	0.781 (0.213)***	1.028 (0.207)***
Inversión	-1.238 (1.609)	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
Ln(Fza.Lab.)	-	-0.006 (0.079)	-	-	-	-	-	-	-	-	-
Escol.Prom.	-	-	0.133 (0.073)*	-	-	-	-	-	-	-	-
I+D Público	-	-	-	-0.565 (0.335)*	-	-	-	-	-	-	-
Consumo Gob.	-	-	-	1.603 (1.027)	-	-	-	-	-	-	-
Der.de Prop.	-	-	-	-	0.146 (0.113)	-	-	-	-	-	-
Créd. a Priv.	-	-	-	-	-	0.103 (0.086)	-	-	-	-	-
Cap. de Riesgo	-	-	-	-	-	-	0.103 (0.034)***	-	-	-	-
DE(Crec PIB)	-	-	-	-	-	-	-	-5.841 (5.137)	-	-	-
Apertura (IFS)	-	-	-	-	-	-	-	-	0.006 (0.183)	-	-
IED / PIB	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-0.945 (2.026)	-
Royalt. / PIB	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-6.583 (4.388)
Elasticidad LP	2.73	2.10	2.36	1.38	2.07	2.35	1.17	2.22	2.42	2.03	2.80
Observ.	300	315	284	229	242	276	101	315	288	297	264
# Países	80	84	65	60	66	70	48	84	74	83	78
Hansen	0.289	0.259	0.696	0.286	0.454	0.296	0.539	0.322	0.512	0.272	0.687
# Instr.	58	58	58	55	48	43	25	58	58	55	55

Fuente: Estimaciones del Autor.

Nota: La base se encuentra promediada por períodos de cinco años. Las regresiones incluyen dummies temporales y una constante, que no son reportados. Errores estándares robustos en paréntesis. \* Significativo al 10%; \*\* Significativo al 5%; \*\*\* Significativo al 1%.

- Por último, las regresiones que utilizan como variable dependiente al logaritmo del gasto en I+D muestran una alta elasticidad entre I+D per capita y producto per capita. El valor contemporáneo se encontraría en el rango  $[0,41 - 1,05]$ , mientras que elasticidad de largo plazo es sustancialmente mayor a la unidad en todos los casos. Esto último sugiere que el gasto en I+D representa una clase de bien superior-de lujo: países más ricos consumen en promedio una cantidad más que proporcional en I+D en relación al diferencial de ingresos.

Las estimaciones realizadas en los cuadros 16 y 17 muestran además una baja significancia para un importante número de regresores. Las únicas variables significativas tanto en las especificaciones con el gasto en I+D tanto en términos de PIB como de población, serían el logaritmo del ingreso per capita, los años de escolaridad promedio de la población adulta y el grado de desarrollo de los capitales de riesgo. El consumo del gobierno y los derechos de propiedad, por su parte, serían significativas en las especificaciones con el gasto expresados en términos de producto. Por último, el gasto en I+D muestra una relación negativa y significativa con el gasto en I+D en términos per capita. En el cuadro 18 se resumen las elasticidades de largo plazo computados para cada una de las variables en las especificaciones con gasto en I+D escalado por PIB y por población

Cuadro 18: Elasticidades de Largo Plazo Computadas<sup>A</sup>

	I+D/PIB	Ln(I+D pc)
<b>Log(PIB per capita)<sup>B</sup></b>	<b>1.075***</b>	<b>2.149***</b>
Inversión en K físico	-1.402	-3.224
Ln(Fuerza Laboral)	0.093	-0.017
Escolaridad Promedio	<b>0.284**</b>	<b>0.314*</b>
I+D Público (% I+D total)	-2.489	<b>-1.121*</b>
Consumo Gob. (% PIB)	<b>0.064*</b>	3.181
Derechos de Propiedad	<b>0.484**</b>	0.347
Crédito a Privados	0.403	0.266
Capitales de Riesgo	<b>0.294***</b>	<b>0.294***</b>
DE(Crec PIB)	-15.658	-15.829
Apertura (IFS)	-0.766	0.018
IED / PIB	-3.918	-2.461
<b>Royalties Pagados / PIB</b>	<b>-6.744</b>	<b>-17.937</b>

*Fuente:* Estimaciones del Autor.

*Nota:* A: La significancia de los coeficientes en el cuadro corresponde a aquella del coeficiente de corto plazo. <sup>B</sup>: Elasticidad corresponde al promedio de las elasticidades computadas. La base se encuentra colapsada por promedios de cinco años y las regresiones incluyen dummies temporales y una constante, que no son reportados. Errores estándares robustos en paréntesis. \* Significativo al 10%; \*\* Significativo al 5%; \*\*\* Significativo al 1%.

De los factores significativos, el ingreso per capita de las economías es por lejos el

factor que tendría un impacto mayor sobre el gasto en I+D. En efecto, tomando el promedio de los coeficientes de largo plazo del ingreso per capita de las economías, se concluye que un incremento de 100 % en el ingreso per capita de las economías estaría asociado en el largo plazo a un poco más de un punto adicional de PIB destinado al sector de I+D. Considerando la tendencia del crecimiento del ingreso per capita en economías asiáticas como India y China en los últimos años, parece plausible proyectar un incremento sostenido en los recursos destinados a I+D en los próximos años en estos países. Una discusión más profunda de la importancia de este resultado se reserva para la sección final de este trabajo.

En contraste con el caso del ingreso per capita, la magnitud de los coeficientes estimados para escolaridad promedio y capitales de riesgo parecen algo más moderados. En efecto, la elasticidad de largo plazo escolaridad- gasto en I+D/PIB indica que un año adicional de educación estaría asociado a un 0.3 puntos porcentuales de producto destinado en el largo plazo a I+D. Esto representa menos de la mitad de la desviación estándar del gasto en I+D observado de las economías (columna 3 de los cuadros 16 y 17). Debido a que la variable de capitales de riesgo corresponde a un indicador subjetivo, es difícil evaluar su contribución cuantitativa en términos de I+D. Sin embargo, es posible concluir que un incremento de una desviación estándar en este indicador (1.4 unidades) se encontraría asociado a 0.4 puntos porcentuales más de producto destinado a I+D, lo cual también podría ser calificado como modesto (columna 7 de los cuadros 16 y 17).

Mejores derechos de propiedad y una mayor habilidad de los gobiernos para movilizar recursos, incrementarían el gasto en I+D como proporción del producto, pero no el gasto en términos per capita. La magnitud de un incremento en una desviación estándar del indicador de derechos de propiedad (0.95 unidades) se traduciría en 0.45 puntos porcentuales más de recursos del producto destinados al sector de I+D. Un punto más de consumo del gobierno, en tanto, tendría asociada un incremento de 0.06 puntos porcentuales de producto adicional destinado al sector de I+D.

Por último, mientras más comprometidos se encuentran los gobiernos en actividades de I+D, las economías gastarían en promedio menos en actividades de I+D, aunque debe precisarse que este resultado sólo sería soportado por la especificación en que el gasto en I+D se encuentra expresado en términos per capita. Una interpretación literal podría llevar a concluir que el gasto en I+D realizado por el gobierno podría estar desplazando en algún grado gasto en I+D privado, lo cual en el agregado no estaría siendo compensado por el mayor gasto del gobierno. Sin embargo, también podría estar indicando selección, pues es posible que en economías con menor inversión en I+D el gobierno posea un rol en el sector de I+D, debido a que tal vez los privados no cuentan con los incentivos suficientes para embarcarse en este tipo de proyectos.

Algunos resultados del resto de las ecuaciones son llamativos en algunos aspectos. En primer lugar, la inversión en capital físico y la fuerza laboral de las economías no

muestran una relación significativa con el gasto en I+D. Esto se muestra en la primera y segunda columna de los cuadros 16 y 17. La nula relación estadística de la inversión en capital física con el gasto en I+D es acorde con la evidencia previa (Bebczuk 2002 y Lederman y Maloney 2003). El coeficiente no significativo de la fuerza laboral, por su parte, sugiere que la escala de las economías no importaría para el desarrollo del sector de I+D.

Segundo, la volatilidad del crecimiento de las economías no se encontraría correlacionado con el gasto en I+D (ver columna 8 de los cuadros 16 y 17). Este resultado coincide con el encontrado por Lederman y Maloney (2003). Sin embargo, es necesario precisar que esto no permite concluir que los incentivos a involucrarse en actividades de I+D no dependan del grado de inestabilidad macro económicamente (entendiendo esto último como un crecimiento más volátil). A este respecto, es posible que la volatilidad de las economías afecte a los recursos destinados a I+D por medio de otros canales. Por ejemplo, es posible pensar que en economías más inestables el desarrollo de los mercados financieros no induzcan un mayor flujo de recursos al sector de I+D.

Tercero, la apertura, la inversión extranjera directa y los royalties pagados no muestran una relación significativa con el gasto en I+D. Una posible causa de esta baja significancia, tal como sugiere Devereux y Lapham (1994) es que la apertura sólo lleve a un mayor flujo de recursos en países más cercanos a la frontera tecnológica.

Por último, pese a que el desarrollo de los capitales de riesgo aparecen tanto en las especificaciones con gasto en I+D escalado por PIB como por población, el porcentaje de crédito al sector privado no es significativo. Como se explico en el capítulo anterior, el crédito al sector privado podría capturar el nivel desarrollo de los mercados financieros de las economías (King y Levine 1993). Por tanto, de existir correlación significativa con el grado de desarrollo de los capitales de riesgo, sería esperable que la significancia de la correlación se mantuviera también en esta otra variable.

### **2.5.1. Evitando Sesgos por Variables Omitidas e Considerando el Rol de Algunas Interacciones**

Una de las primeras lecciones de los textos básicos de econometría es el sesgo de los coeficientes estimados cuando se tienen variables relevantes omitidas. Por ello, en este apartado se estima de forma conjunta los parámetros de los coeficientes más significativos estimados de forma separada en los cuadros 16 y 17: ingreso per capita de las economías, escolaridad promedio de la población adulta, derechos de propiedad, consumo de gobierno y proporción del gasto en I+D realizado por el sector público. Se evita trabajar con la variable de desarrollo de los capitales de riesgo debido a su limitado número de observaciones. Adicionalmente, se incluyen interacciones de variables para las cuales se tiene duda acerca de la homogeneidad de su impacto, entre ellas:

- **Nivel de apertura e ingreso per capita de las economías.** Esta interacción busca capturar el efecto diferencial que tendría la apertura sobre el gasto en I+D según la distancia de las economías a la frontera tecnológica. El modelo de Devereux y Lapham (1994) predice que la apertura debería encontrarse correlacionada positivamente con I+D, aunque en economías más lejanas a la frontera tecnológica, el impacto debería ser menor.
- **Porcentaje del I+D total realizado por el sector público e ingreso per capita.** En modelos de crecimiento endógeno como Romer (1990) la productividad de los recursos destinados al sector de I+D en término de innovaciones esperadas depende del *stock* de conocimiento de las economías. Luego, en países más lejanos a la frontera tecnológica (con un menor *stock* de conocimiento), los privados contarán con menos incentivos a comprometerse en actividades de I+D, esto a pesar de los *spillovers* de conocimiento que genera este sector. Como consecuencia de esto, el gobierno participará más activamente en economías lejanas a la frontera tecnológica para así poder alcanzar el nivel socialmente óptimo de inversión en I+D. Por tanto, se espera que la participación del sector público en el I+D total realizado sea mayor en economías con menor cantidad de ingresos per capita.
- **Desarrollo de los mercados financieros y volatilidad del crecimiento del producto.** Se espera que la efectividad de mercados financieros más desarrollados en incentivar actividad del sector de I+D sea mayor en economías más estables. Esta premisa se basa en las predicciones de artículos que estudian la relación entre desarrollo de los mercados financieros y crecimiento de largo plazo (ver Greenwood y Jovanovic 1990, Bencivenga y Smith 1991, de la Fuente y Marin 1996 o Aghion, Howitt, y Mayer-Foulkes 2005). En la mayor parte de estos modelos las restricciones financieras surgen como consecuencia de un problema de riesgo moral de los empresarios (innovadores), quienes no pueden comprometerse creíblemente con los inversionistas a pagar los préstamos otorgados, y además sólo pueden ser monitoreados imperfectamente a un costo dado. El desarrollo de los mercados financieros reduce el costo de monitoreo, lo cual incrementa el número de proyectos realizados y el crecimiento de largo plazo. Si en ambientes macroeconómicos más inciertos el monitoreo se vuelve más costoso, entonces el nivel de desarrollo financiero necesario para incentivar a los inversionistas a financiar proyectos de I+D debiera ser mayor. Por tanto, se espera que la relación positiva entre desarrollo financiero y gasto del sector de I+D sea más débil en economías más volátiles.

Los cuadros 19 y 20 muestran los resultados de las especificaciones estimadas para el gasto en I+D como proporción del PIB, así como para el gasto en términos per capita. A los controles utilizados en los cuadros 19 y 20, se agregan las variables de

escolaridad promedio y derechos de propiedad. La razón de esta decisión reside en la alta significancia de ambas variables en las estimaciones de los cuadros 16 y 17.

La estrategia de estimación es la siguiente: en la primera columna se estima la regresión con los controles base. En la segunda columna se agregan el consumo de gobierno, el gasto en I+D realizado por el sector público, el crédito al sector privado y apertura, aunque no las interacciones de cada una de ellas. Posteriormente, en las columnas 3, 4 y 5 de los cuadros 19 y 20 se estima con los regresores base la magnitud y significancia de cada una de las variables a interactuar con sus interacciones correspondientes. Por último, en la sexta columna se se estima de forma conjunta el efecto de los regresores más significativos de las ecuaciones anteriores.

Cuadro 19: Determinantes I+D/PIB [ II ]

System GMM	(1)	(2)B	(3)	(4)	(5)	(6)
I+D/PIB(-1)	<b>0.708</b> (0.153)***	<b>0.648</b> (0.140)***	<b>0.545</b> (0.086)***	<b>0.462</b> (0.181)**	<b>0.688</b> (0.185)***	<b>0.459</b> (0.083)***
ln(PIB pc)	<b>0.184</b> (0.090)**	-0.037 (0.229)	<b>0.881</b> (0.278)***	-0.084 (0.163)	-0.177 (0.141)	<b>0.626</b> (0.256)**
Derecho Propiedad	0.095 (0.086)	<b>0.169</b> (0.099)*	-0.032 (0.080)	<b>0.165</b> (0.066)**	<b>0.235</b> (0.055)***	-0.001 (0.097)
Escolaridad Promedio	0.019 (0.031)	0.015 (0.023)	<b>0.036</b> (0.019)*	0.077 (0.059)	0.056 (0.034)	<b>0.044</b> (0.022)*
Consumo Gob.	-	<b>2.697</b> (1.295)**	1.891 (1.162)	-	-	<b>2.454</b> (0.955)**
I+D Público	-	0.070 (0.404)	<b>17.341</b> (6.207)***	-	-	<b>11.038</b> (4.631)**
I+D Púb.*Log(PIB pc)	-	-	<b>-1.994</b> (0.708)***	-	-	<b>-1.302</b> (0.540)**
Crédito a Privados	-	<b>0.337</b> (0.193)*	-	<b>0.853</b> (0.391)**	-	0.208 (0.184)
Cred. Priv.*DE(crec GDP)	-	-	-	<b>-14.144</b> (7.039)**	-	<b>-5.084</b> (2.379)**
Apertura	-	-0.163 (0.195)	-	-	-1.397 (2.170)	-
Apertura*Log(PIB pc)	-	-	-	-	0.150 (0.252)	-
Observaciones	228	163	178	205	213	166
# Países	60	46	52	53	56	47
Hansen	0.236	0.990	0.610	0.505	0.303	0.992
# Instrumentos	46	70	47	54	54	59

*Fuente:* Estimaciones del Autor. *Nota:* La base se encuentra promediada por periodos de cinco años. Las regresiones incluyen dummies temporales y una constante, que no son reportados. Errores estándares robustos en paréntesis. \* Significativo al 10%; \*\* Significativo al 5%; \*\*\* Significativo al 1%.

Algunos de los resultados encontrados difieren a los de los cuadros 16 y 17. En cuanto a los regresores base, tanto el logaritmo del ingreso per capita, como la escolaridad promedio y los derechos de propiedad parecen ser, en general, menos significativos que lo que eran en los cuadros 16 y 17. En contraste, el consumo del gobierno posee una magnitud y significancia mayor en todas las estimaciones realizadas en comparación a resultados anteriores.

Cuadro 20: Determinantes I+D per capita [ II ]

System GMM	(1)	(2)	(3)	(4)	(5)	(6)
ln(I+D pc(-1))	0.624 (0.094)***	0.330 (0.092)***	0.300 (0.201)	0.662 (0.148)***	0.488 (0.089)***	0.322 (0.082)***
ln(PIB pc)	0.533 (0.260)**	0.888 (0.203)***	1.785 (0.485)***	0.669 (0.357)*	0.641 (0.451)	1.408 (0.215)***
Derecho Propiedad	0.122 (0.127)	0.247 (0.182)	-0.004 (0.214)	0.005 (0.036)	0.312 (0.177)*	0.030 (0.186)
Escolaridad Promedio	0.111 (0.075)	0.013 (0.038)	0.023 (0.048)	0.074 (0.091)	0.020 (0.027)	0.013 (0.015)
Consumo Gob.	-	3.229 (0.971)***	2.359 (1.687)	-	-	2.979 (1.020)***
I+D Público	-	-0.389 (0.337)	14.118 (6.173)**	-	-	8.501 (3.450)**
I+D Púb.*ln(PIB pc)	-	-	-1.615 (0.672)**	-	-	-0.989 (0.378)**
Crédito a Privados	-	0.217 (0.174)	-	0.254 (0.259)	-	0.271 (0.206)
Cred. Priv.*DE(crec GDP)	-	-	-	-16.880 (10.109)	-	-1.829 (5.698)
Apertura	-	-0.332 (0.263)	-	-	0.571 (5.286)	-
Apertura*ln(PIB pc)	-	-	-	-	-0.064 (0.587)	-
Observaciones	228	163	186	205	213	47
# Países	60	46	52	53		47
Hansen	0.466	0.798	0.814	0.621	0.425	0.998
# Instrumentos	46	54	47	54	42	59

*Fuente:* Estimaciones del Autor. *Nota:* La base se encuentra promediada por períodos de cinco años. Las regresiones incluyen dummies temporales y una constante, que no son reportados. Errores estándares robustos en paréntesis. \* Significativo al 10%; \*\* Significativo al 5%; \*\*\* Significativo al 1%.

En lo que respecta a las interacciones, se destaca que en tanto las especificaciones con el gasto en I+D escalado por PIB como en aquellas escaladas por población, los signos de los parámetros estimados concuerdan con las predicciones realizadas más arriba en este apartado. El gasto en I+D realizado por el sector público se encontraría correlacionado positivamente con el gasto en I+D agregado de las economías, aunque su impacto decrecería en la medida que los países se hacen más ricos. Por otro lado, pese a que los signos encontrados para el crédito a privados concuerdan con lo pronosticado, sólo serían estadísticamente significativo en la especificación en que el gasto en I+D se expresa en términos de producto. Por último, la interacción de la apertura de las economías con el ingreso per capita de las economías no resultó significativo en ninguna especificación, aunque debe precisarse que el signo de estos parámetros concuerdan también con los esperados.

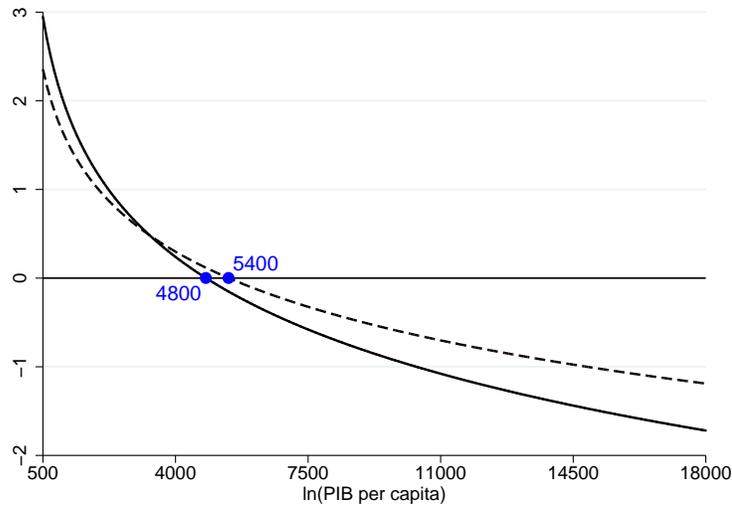
En la columna 6 de los cuadros 19 y 20 se estiman todas las variables en forma simultánea<sup>48</sup>. Como se puede apreciar, el ingreso per capita de las economías posee una alta magnitud y significancia, al igual que las variables que dan cuenta del rol del gobierno en el sector de I+D. La escolaridad promedio sólo es significativa en la especificación con el gasto en I+D en términos de PIB. Por último, los derechos de propiedad, y el crédito al sector privado no se relacionarían de forma estadísticamente significativa con el gasto en I+D.

<sup>48</sup>la excepción la componen las dos variables de apertura, que no fueron incluidas por no resultar significativas en ninguna especificación

¿Cuan relevante son las magnitudes encontradas? Al igual que en el cuadro 18, el ingreso per capita aparece como el factor que tendría una magnitud mayor sobre el gasto en I+D. En efecto, tomando como referencia los resultados de la columna 6 de los cuadros 19 y 20, un incremento de 100% en el ingreso per capita de las economías estaría asociado en el largo plazo a poco más de un punto adicional de PIB destinado a I+D. De forma equivalente, los resultados del cuadro 20 muestran que el mismo incremento anterior estaría asociado a un 200% más de gasto en I+D en dólares per capita. La escolaridad promedio, en contraste, posee una magnitud bastante pequeña. Un incremento de un año de escolaridad de la educación tendría asociado apenas un incremento de 0.1 puntos porcentuales adicionales de producto destinado al sector de I+D. De la misma forma, el consumo de gobierno también poseería un impacto acotado: un punto adicional de consumo del gobierno en términos de producto tendría asociado apenas 0.045 puntos porcentuales más de inversión en términos de producto y 0.44% más de gasto en términos per capita.

Uno de los resultados más interesantes es el asociado al rol del gasto de gobierno. Los parámetros estimados sugieren un rol positivo de la participación del t en actividades de I+D para niveles bajos de ingresos. Sin embargo, en la medida que las economías se desarrollan, la mayor participación marginal del sector público no estaría asociado a incrementos del gasto en I+D total. En la figura 3 se gráfica el impacto de un incremento marginal en la participación del gobierno en sector de I+D sobre el gasto en I+D agregado. Como se aprecia, el umbral sobre el cual la participación del gobierno comienza a tener un efecto negativo sobre el gasto en I+D se estima en alrededor de los US\$5,000 tanto en la especificación en términos de PIB como de población. Como se mencionó anteriormente, este resultado no necesariamente indica que la participación del gobierno en el sector de I+D desincentive la participación de los privados en el sector de I+D. En efecto, la causalidad podría ser en la dirección contraria. Podría ser que los países en la medida que se acercan a la frontera tecnológica, los privados tengan mayores incentivos a invertir en el sector de I+D, por lo que residualmente la participación del gobierno como porcentaje del gasto en I+D total podría disminuir.

Figura 3: Impacto del Gasto Realizado por el Sector Público



*Fuente:* Construcción del Autor.

*Nota:* La línea continua corresponde al impacto de la participación del sector público sobre el gasto en I+D como porcentaje del PIB, mientras que la línea intermitente representa el impacto sobre el  $\ln(I+D \text{ pc})$

Una interpretación alternativa del coeficiente interactivo entre gasto en I+D del sector público e ingreso per capita podría ser que la efectividad del ingreso per capita para inducir más gasto en I+D dependa de cuan involucrado se encuentre el sector público en actividades de I+D. En efecto, al computar los coeficientes marginales para el logaritmo del ingreso per capita se obtiene que el impacto de un incremento en 100 % en el ingreso per capita varía entre 1.4 puntos porcentuales de gasto en I+D en el caso en que el gobierno no participa en el sector de I+D, a 0.4 puntos porcentuales más de gasto en I+D cuando el gasto en I+D es realizado completamente por el gobierno. Sin embargo, nuevamente el problema de causalidad no permite identificar que factor *causa* a que.

## 2.6. Resumen y Comentarios Finales

En este capítulo se estudió la contribución de un extenso conjunto de factores en el gasto en I+D observado a nivel de países para el período 1960-2000. La justificación a la inclusión de la mayor parte de las variables contrastadas es consistente con la literatura de crecimiento endógeno basados en ideas.

Los principales resultados pueden ser resumidos del siguiente modo. El gasto en I+D se encuentra fuertemente relacionado al ingreso per capita de los países. La alta elasticidad encontrada sugiere que los países en la medida que son más ricos, incrementan su gasto en I+D más que proporcionalmente en relación al diferencial de ingresos. La

magnitud del coeficiente estimado para el ingreso per capita sugiere que esta variable sería altamente efectivo en incrementar I+D. En efecto, un incremento de 100 % en el I+D per capita induciría 1 puntos porcentual más de gasto en I+D. La magnitud de este impacto es comparable tanto a la media como a la desviación estándar del gasto en I+D como porcentaje del PIB en la muestra de países considerados. No obstante lo anterior, la relación entre I+D e ingreso per capita no sería homogénea entre países, y dependería, entre otras cosas, del nivel de participación del sector público en las actividades de I+D.

No solamente el nivel de riqueza de los países determinaría el nivel observado de gasto en I+D. Países con mercados de capitales de riesgo más desarrollados así como con un mayor porcentaje del crédito destinado al sector privado invertirían más en actividades de I+D. Este resultado sugiere que la disponibilidad de fuentes alternativas de financiamiento tendría un alto nivel de relevancia para los innovadores. Los resultados muestran además que el nivel de desarrollo financiero necesario para inducir un mismo incremento de gasto en I+D sería menor en economías más estables macro económicamente. En cuanto a la participación del sector privado en el sector de I+D, se encuentra evidencia de que esta poseería una mayor efectividad en economías con menor nivel de ingresos per capita. De hecho, se estima que una mayor participación del gobierno en economías con niveles de ingreso per capita superiores a los US\$5,000 estaría asociado a menos gasto en I+D.

Por último, se encuentra evidencia (aunque de baja significancia estadística) de que mejores derechos de propiedad, así como una mayor escolaridad de la población estarían asociados a mayor gasto en I+D. Sin embargo, se debe precisar que la magnitud de esta relación es bastante menor a la encontrada para el caso del ingreso per capita de las economías. La inversión en capital físico, la apertura, la inversión extranjera directa, así como los royalties pagados no se relacionarían significativamente con mayor gasto en investigación y desarrollo.

Los resultados encontrados merecen algunos comentarios. El primero de ellos tiene relación con el alto coeficiente encontrado para el parámetro del ingreso per capita. Durante todo el capítulo se evaluó la importancia cuantitativa de este coeficiente suponiendo que el ingreso per capita de una economía cualquiera se duplicaba. ¿Cuán válida es esta comparación? Suponiendo que un país puede mantener una tasa de crecimiento del ingreso per capita igual al promedio del crecimiento de todas las economías (2.45 %, ver cuadro A.7 del apéndice), tomaría la friolera de 28 años duplicar el nivel de ingreso per capita. Luego, es poco probable que los grandes movimientos en el gasto en I+D que experimentan los países en el tiempo pueda ser atribuido exclusivamente al ingreso de las economías<sup>49</sup>. El problema es, entonces, ¿qué variables restan

---

<sup>49</sup>No obstante lo anterior, no se descarta que el ingreso per capita creciendo a altas tasas en Irlanda y China en la década de 1990, o en Corea del Sur en las décadas anteriores sean responsables de una parte importante del incremento de la actividad innovativa observada.

para explicar la evolución del gasto en I+D en las economías? La poca significancia de variables de política como escolaridad o derechos de propiedad impide asegurar con total seguridad que estas puedan explicar la variación de la muestra. Un argumento a favor de estas variables, es que la baja relación estadística podría responder a dos situaciones. Primero, la alta correlación de estas variables con el ingreso per capita de las economías podría impedir identificar el impacto de estas variables sobre I+D adecuadamente. Segundo, es posible que el impacto sea heterogéneo de acuerdo a algunas características de las economías. Sea cual sea la causa, se recalca la necesidad de una investigación más detenida de los mecanismos de transmisión de estas variables.

# Conclusiones

En este trabajo se realizó un estudio comprehensivo en torno al rol del sector de I+D. Los modelos de crecimiento endógeno basados en ideas sugieren un importante rol para este sector en el proceso de desarrollo de las economías, tanto en términos de crecimiento del producto como de la productividad de las economías, lo cual hace este un tema de interés.

En el primer capítulo de este documento se evaluó la relación estadística entre I+D y productividad para un amplio panel de países. Los resultados de este capítulo sugieren una fuerte correlación entre gasto en I+D y PTF. A diferencia de estudios previos, se evaluó la posible simultaneidad entre ambas variables utilizando conceptos de causalidad estadística. Una de las principales conclusiones que surgen del análisis es que, los países que realizan mayores esfuerzos en desarrollar el sector de I+D se volverían más productivos. Tomando en cuenta que las diferencias de productividad total de los factores explicarían una importante parte de las diferencias de ingreso y crecimiento del producto de los países, el desarrollo del sector de I+D debería ser considerado como una importante fuente para afectar las sendas de desarrollo de las economías.

En el segundo capítulo de este trabajo se complementa la discusión con una evaluación empírica de los determinantes de las distintas intensidades de gasto en I+D entre países. Comprender las características de los países que más gastan han gastado en I+D puede ser útil a la hora de evaluar las posibles políticas para incrementar el la intensidad del gasto destinada a este sector. Los resultados de este capítulo indican que, pese a que la riqueza de los países tendría un fuerte impacto en el gasto observado en I+D de las economías, condiciones del medio como las posibilidades de financiamiento, los derechos de propiedad y la escolaridad promedio de la población contribuirían a un mayor gasto en el sector de I+D. Adicionalmente, gobiernos más comprometidos en las actividades de I+D se observarían en economía con menos gasto en I+D. Uno de los resultados más interesantes de este capítulo es que la efectividad decreciente del gobierno en alentar inversión en I+D en la medida que las economías incrementan su ingreso per capita.

Estos resultados, en cualquier caso, deben ser analizados con cautela. La variable de gasto en I+D utilizada corresponde a una medida más agregada de lo que sería deseable por lo cual el impacto encontrado corresponde al promedio de todos los tipos de

actividades de I+D realizadas. Considerando que no existen razones para pensar que la composición del gasto en I+D realizada en los distintos sectores de la economía es homogénea entre países, es posible que algunos tipos de gasto en I+D posean un impacto aún mayor sobre PTF que otros. ¿Cuán productivo es el gasto realizado/financiado por el sector público v/s el de los privados? ¿Es más productivo es el gasto realizado en los sectores productivos v/s no productivos? ¿Gasto en investigación básica v/s aplicada? Todas estas son cuestiones que quedan abiertas en este trabajo y podrían ayudar a dar una idea más precisa de la contribución del gasto en I+D a nivel de países.

# Bibliografía

- Acemoglu, D., 1998, “Why Do New Technologies Complement Skills? Directed Technical Change And Wage Inequality,” *The Quarterly Journal of Economics*, 113, 1055–1089.
- Aghion, P., C. Harris, P. Howitt, y J. Vickers, 2001, “Competition, Imitation and Growth with Step-by-Step Innovation,” *Review of Economic Studies*, 68, 467–92.
- Aghion, P., y P. Howitt, 1992, “A Model of Growth Through Creative Destruction,” *Econometrica*, 60, 323–51.
- Aghion, P., P. Howitt, y D. Mayer-Foulkes, 2005, “The Effect of Financial Development on Convergence: Theory and Evidence,” *The Quarterly Journal of Economics*, 120, 173–222.
- Alcalá, F., y A. Ciccone, 2004, “Trade and Productivity,” *The Quarterly Journal of Economics*, 119, 612–645.
- Arellano, M., y S. Bond, 1991, “Some test of Especification for Panel Data: Monte Carlo Evidence and an Application to Employments Equations,” *The Review of Economic Studies*, 58, 277–297.
- Barro, R. J., 1991, “Economic Growth in a Cross Section of Countries,” *The Quarterly Journal of Economics*, 106, 407–43.
- Barro, R. J., y J.-W. Lee, 2000, “International Data on Educational Attainment: Updates and Implications,” CID Working Papers 42, Center for International Development at Harvard University.
- Bebczuk, R., 2002, “R&D Expenditures and the Role of Government around the World,” *Estudios de Economía*, 29, 109–121.
- Benavente, J. M., J. De Gregorio, y M.Ñuñez, 2006, “Rates of Return for Industrial R&D in Chile,” Documento de trabajo 220, Universidad de Chile.
- Benavente, J. M., A. Galetovic, R. Sanhueza, y P. Serra, 2005, “Estimando la Demanda Residencial por Electricidad en Chile: El Consumo es Sensible al Precio,” *Cuadernos de Economía*, 42, 31–61.

- Bencivenga, V. R., y B. D. Smith, 1991, "Financial Intermediation and Endogenous Growth," *Review of Economic Studies*, 58, 195–209.
- Bitzer, J., y M. Kerekes, 2005, "Does Foreign Direct Investment Transfer Technology Across Borders? A Reexamination," *Diskussionsbeiträge 2005/7*, Freien Universität Berlin.
- Blundell, R., y S. Bond, 1998, "Initial Conditions and Moments Restrictions in Dynamic Panel Data Models," *Journal of Econometrics*, 87, 115–143.
- Bond, S., 2002, "Dynamics Panel Data Models: A Guide to Micro Data Methods and Practice," Working Paper CWP09, The Institute for Fiscal Studies, Centre for Microdata Methods and Practice.
- Bond, S., R. Hoeffler, y J. Temple, 2001, "GMM estimation of Empirical Growth Models," Documento de trabajo, CEPR Discussion paper series N 3048.
- Borensztein, E., J. De Gregorio, y J.-W. Lee, 1998, "How does foreign direct investment affect economic growth?1," *Journal of International Economics*, 45, 115–135.
- Bosworth, B., y S. Collins, 2003, "The Empirics of Growth: An Update," *Brookings Papers on Economic Activity*, 2003, 113–179.
- Breznitz, D., 2006, "Innovation-Based Industry Policy in Emerging Economies? The Case of Israel's IT Industry," *Business and Politics*, 8.
- Coe, D., y E. Helpman, 1995, "International R&D Spillovers," *European Economic Review*, 39, 859–887.
- Dahlman, C., J. Routti, y P. Ylä-Anttila, 2006, *Finland as a Knowledge Economy: Elements of Success and Lessons Learned* . chap. Overview, pp.–, -.
- David, P. A., B. H. Hall, y A. A. Toole, 2000, "Is Public R&D a Complement or Substitute for Private R&D? A Review of the Econometric Evidence," *Research Policy*, 29, 497–529.
- De Gregorio, J., 2006, "Economic Growth in Latin America: From the Disappointment of the Twentieth Century to the Challenges of the Twenty-First," Working Papers Central Bank of Chile 377, Central Bank of Chile.
- de la Fuente, A., y J. M. Marin, 1996, "Innovation, bank monitoring, and endogenous financial development," *Journal of Monetary Economics*, 38, 269–301.
- Devereux, M. B., y B. J. Lapham, 1994, "The Stability of Economic Integration and Endogenous Growth," *The Quarterly Journal of Economics*, 109, 299–305.

- Easterly, W., y R. Levine, 2002, "It's Not Factor Accumulation: Stylized Facts and Growth Models," Working Papers Central Bank of Chile 164, Central Bank of Chile.
- Edwards, S., 1998, "Openness, Productivity and Growth: What Do We Really Know?," *Economic Journal*, 108, 383–98.
- Falk, M., 2006, "What Drives Business R&D Intensity Across OECD Countries?," *Applied Economics*, 38, 533–547.
- Frankel, J. A., y D. Romer, 1999, "Does Trade Cause Growth?," *American Economic Review*, 89, 379–399.
- Frantzen, D., 2003, "The Causality between R&D and Productivity in Manufacturing: an international disaggregate panel data study," *International Review of Applied Economics*, 17, 125–146.
- Fuentes, R., M. Larraín, y K. Schmidt-Hebbel, 2006, "Sources of Growth and Behavior of TFP in Chile," *Cuadernos de Economía (Latin American Journal of Economics)*, 43, 113–142.
- Granger, C. W. J., 1969, "Investigating Causal Relations by Econometric Models and Cross-Spectral Methods," *Econometrica*, 37, 424–38.
- Greenwood, J., y B. Jovanovic, 1990, "Financial Development, Growth, and the Distribution of Income," *Journal of Political Economy*, 98, 1076–1107.
- Greenwood, J., y B. D. Smith, 1997, "Financial markets in development, and the development of financial markets," *Journal of Economic Dynamics and Control*, 21, 145–181.
- Griliches, Z., 1979, "Issues in Assessing the Contribution of Research and Development to Productivity Growth," *Bell Journal of Economics*, 10, 92–116.
- Griliches, Z., 1998, *R&D and Productivity* . chap. R&D and Productivity: The Unfinished Business, pp. 269–286, The University of Chicago Press.
- Grossman, G., y E. Helpman, 1991, *Innovation and Growth in the Global Economy*, The MIT Press, Cambridge.
- Guellec, D., y B. V. Pottelsberghe, 2000, "The Impact of Public R&D Expenditure on Business R&D," OECD Science, Technology and Industry Working Papers 2000/4, OECD Directorate for Science, Technology and Industry.
- Hall, R., y C. Jones, 1999, "Why do some countries produce so much more output per worker than others?," *Quarterly Journal of Economics*, 114, 83–116.

- Hansen, L. P., 1982, “Large Sample Properties of Generalized Method of Moments Estimators,” *Econometrica*, 50, 1029–54.
- Heston, A., R. Summers, y B. Aten, 2002, “Penn World Table Version 6.1,” Center for International Comparisons at the University of Pennsylvania (CICUP).
- Holtz-Eakin, D., W.Ñewey, y H. Rosen, 1988, “Estimating Vector Autoregressions with Panel Data,” *Econometrica*, 56, 1371–1395.
- Horii, R., y T. Iwaisako, 2007, “Economic Growth with Imperfect Protection of Intellectual Property Rights,” *Journal of Economics*, 90, 45–85.
- Jones, C., y J. Williams, 1998, “Measuring the Social Return to R&D,” *Quarterly Journal of Economics*.
- Jones, C. I., 1997, “The Neoclassical Revival in Growth Economics: Has It Gone Too Far?: Comment,” *NBER Macroeconomics Annual*, 12.
- Kim, L., 1997, *Imitation to innovation. The Dynamics of Korea’s Technological Learning*, Harvard Business School Press.
- King, R. G., y R. Levine, 1993, “Finance and Growth: Schumpeter Might Be Right,” *The Quarterly Journal of Economics*, 108, 717–37.
- Klenow, P., y A. Rodríguez-Claire, ?????, “Externalities and Growth,” in Philippe Aghion, and Steven Durlauf (ed.), *Handbook of Economic Growth*.
- Klenow, P., y A. Rodríguez-Claire, 1997, “The Neoclassical Revival in Growth Economics: Has It Gone Too Far?,” *NBER Macroeconomics Annual*, 12, 73–103.
- Lederman, D., y W. Maloney, 2003, “R&D and Development,” Research policy working paper, The World Bank.
- Lederman, D., y L. Saenz, 2005, “Innovation and Development Around the World, 1960-2000,” Policy Research Working Paper 3774, The World Bank.
- Levine, R., 1997, “Financial Development and Economic Growth: Views and Agenda,” *Journal of Economic Literature*, 35, 688–726.
- Levine, R., y S. Zervos, 1998, “Stock Markets, Banks, and Economic Growth,” *American Economic Review*, 88, 537–58.
- Lim, Y., 1999, *Technology and Productivity The Korean Way of Learning and Carching Up*, MIT Press, Cambridge, Massachusetts.
- Lu, W.-C., J.-R. Chen, y C.-L. Wang, 2006, “Granger causality test on R&D spatial spillovers and productivity growth,” *Applied Economics Letters*, 13, 857–861.

- Mairesse, J., y M. Sassenoe, 1991, "R&D and Productivity: A Survey of Econometric Studies at the Firm Level," Working Paper 3666, NBER.
- Mankiw, N. G., D. Romer, y D.Ñ. Weil, 1992, "A Contribution to the Empirics of Economic Growth," *The Quarterly Journal of Economics*, 107, 407–37.
- Miller, S. M., y M. P. Upadhyay, 2000, "The effects of openness, trade orientation, and human capital on total factor productivity," *Journal of Development Economics*, 63, 399–423.
- Park, W., 2002, *Economic Freedom of the World 2001* . chap. Intellectual Property and Economic Freedom, Fraser Institute,, Vancouver, James Gwartney and Robert Lawson (eds.).
- Park, W. G., y J. C. Ginarte, 1997, "Intellectual Property Rights and Economic Growth," *Contemporary Economic Policy*, 15, 51–61.
- Rivera-Batiz, L., y P. Romer, 1991, "Economic Integration and Long Run Growth," *Quarterly Journal of Economics*, 106, 531–555.
- Romer, P., 1990, "Endogenous Technological Change," *Journal of Political Economy*, 98, 71–102.
- Roodman, D., 2006, "How to Do xtabond2: An Introduction to "Difference.and "System"GMM in Stata," Working Papers 103, Center for Global Development.
- Rouvinen, P., 2002, "R&D - Productivity Dynamics: Causality, Lags and Dry Holes," *Journal of Applied Economics*, V, 123–156.
- Sargan, J., 1958, "The Estimation of Economic Relationships using Instrumental Variables," *Econometrica*, 26, 393–415.
- Trajtenberg, M., 2000, "R&D Policy in Israel: An Overview and Reassessment," NBER Working Papers 7930, National Buereau of Economic Research.
- Van-Pottelsberghe, y F. Lichtenberg, 2001, "Does Foreign Direct Investment Transfer Technology Across Borders?," *Review of Economics and Statistics*, 83, 490–497.
- Varsakelis, N., 2001, "The impact of Patent Protection, Economy Openess and National Culture on R&D Investment: a Cross-Country Empirical Investigation," *Research Policy*, 30, 1059–1068.
- Weiser, R., 2001, *Innovation and Productivity of European Manufacturing* . background paper for the competiveness report The Impact of Research and Development on Output and Productivity: Firm Level Evidence, Austrian Intitute of Economic Research.

- Windmeijer, F., 2005, "A finite sample correction for the variance of linear efficient two-step GMM estimators," *Journal of Econometrics*, 126, 25–51.
- Young, A., 1995, "The Tyranny of Numbers: Confronting the Statistical Realities of the East Asian Growth Experience," *The Quarterly Journal of Economics*, 110, 641–80.
- Zachariadis, M., 2004, "R&D-induced Growth in the OECD?," *Review of Development Economics*, 8, 423–439.

# Apéndice A

## Tablas y Figuras

### Capítulo 2

#### Descripción de Variables Utilizadas.

- **Productividad Total del Factores:** Esta definición corresponde a la de Klenow y Rodríguez-Claire (2005), quienes lo computan como:

$$PTF = \frac{Y/L}{[(K/Y) * (Y/L)]^\alpha * \exp(\phi * att)^{1-\alpha}},$$

donde  $Y/L$  representa al producto real por trabajador,  $K/Y$  iguala a la razón capital producto, mientras que  $att$  son los años de educación de los individuos mayores de 25 años. Por último, se asume  $\alpha = 1/3$ , mientras que  $\phi = 0,085$ . Este último valor, que representa el retorno a la educación, los autores lo toman de Psacharopoulos y Patrinos (2002). Los años de educación promedio de individuos mayores de 25 años se toma de Barro y Lee (2000), mientras que el resto de las variables son tomadas de Penn World Table, versión 6.1.

- **Gasto en I+D:** Esta variable se toma de Lederman y Saenz (2005). Estos autores recopilan información del gasto en I+D de las bases de datos de UNESCO, Banco Mundial, Red de Indicadores de Ciencia y Tecnología Ibero Americana (RICYT) y del *Taiwan Statistics Data Book*. La definición de I+D considerada incluye investigación básica y aplicada, así como desarrollos experimentales. La base de Lederman y Saenz (2005) incluye información de gasto en I+D como porcentaje del PIB. Para construir las series en dólares ajustados por paridad de poder de compra (PPP) y dólares en PPP per capita, se multiplica el valor por el PIB real en PPP y el PIB per capita en PPP. Estas dos últimas series son obtenidas de Penn World Table.
- **Inestabilidad Macro:**  $\pi/(1 + \pi)$ , donde  $\pi$  representa a la inflación promedio anual del período. La inflación promedio anual se construye como el promedio geométrico de la variación en el periodo del CPI (línea 64 del IFS)

- **Crédito a Privados:**<sup>1</sup>  $(0,5) * [F_t/Pe_t + F_{t-1}/Pe_{t-1}]/[GDP_t/Pa_t]$ , donde  $F$  es el crédito proporcionado por bancos comerciales y por otras instituciones no financieras a privados (líneas 22d + 42d del IFS), GDP es la línea 99b, Pe es el CPI de fin del periodo (línea 64), y  $Pa$  es el CPI promedio del año.
- **Bank:**<sup>2</sup> Corresponde a la razón de los activos de los bancos comerciales (líneas 22a-d) a la suma de los activos de los bancos comerciales más los activos del banco central (líneas 12a-d).
- **LLY:**<sup>1</sup>  $(0,5) * [F_t/Pe_t + F_{t-1}/Pe_{t-1}]/[GDP_t/Pa_t]$ , donde  $F$  corresponde a M3 (línea 55 del IFS) o a M2 cuando no se encuentra disponible (líneas 34+35 del IFS). Al igual que en crédito a privados, GDP es la línea 99b, Pe es el CPI de fin del periodo (línea 64), y  $Pa$  es el CPI promedio del año.
- **Apertura:**  $(X + M)/GDP$ , donde  $X$  representa a exportaciones (línea 90c) y  $M$  a las importaciones (línea 98c). Fuente: *International Financial Statistics*.
- **Inversión Extranjera Directa/GDP:** Flujos de inversión extranjera directa como proporción del PIB. Fuente: *World Development Indicators*

Cuadro A.1: Observaciones por País de gasto en I+D en base promediada por períodos de cinco años

País	Obs.	País	Obs.	País	Obs.
Argentina	6	Hong Kong, China	1	Poland	2
Australia	5	Hungary	6	Portugal	6
Austria	6	Iceland	6	Romania	2
Belgium	6	India	6	Senegal	1
Bolivia	1	Indonesia	5	Singapore	4
Brazil	5	Ireland	6	South Africa	2
Canada	6	Israel	6	Spain	6
Chile	4	Italy	6	Sri Lanka	1
China	2	Jamaica	1	Sweden	6
Colombia	3	Japan	6	Switzerland	6
Costa Rica	5	Jordan	3	Taiwan, China	4
Cyprus	1	Korea, Rep.	6	Thailand	4
Denmark	5	Malaysia	2	Togo	1
Ecuador	4	Mauritius	2	Tunisia	1
Egypt, Arab Rep.	5	Mexico	4	Turkey	6
El Salvador	3	Netherlands	6	Uganda	1
Finland	6	New Zealand	3	United Kingdom	5
France	6	Norway	6	United States	6
Germany	2	Pakistan	4	Uruguay	3
Greece	4	Panama	2	Venezuela	6
Guatemala	4	Peru	5	Zambia	1
Guyana	1	Philippines	5	<b>TOTAL</b>	<b>261</b>

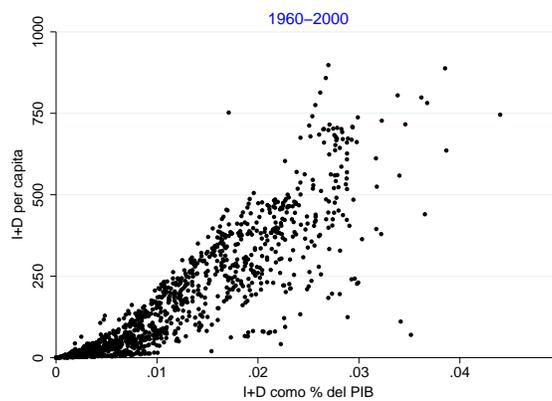
Fuente: Cálculos del Autor.

<sup>1</sup>Esta variable se construye de acuerdo a Aghion, Howitt, y Mayer-Foulkes (2005), basado en King y Levine (1993).

<sup>2</sup>Construcción basado en King y Levine (1993).

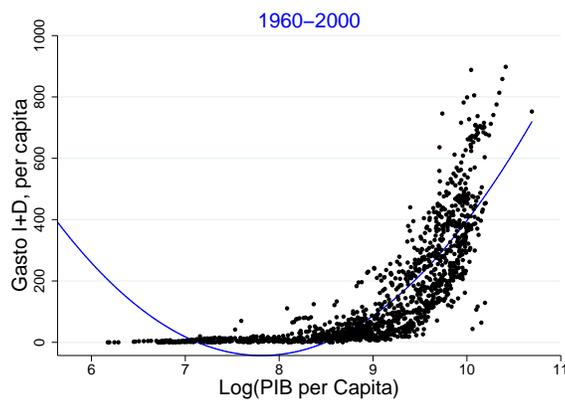
# Capítulo 3

Figura A.1: Dispersión del gasto en Investigación y Desarrollo



Fuente: Construcción del Autor.

Figura A.2: Gasto en I+D per capita y Desarrollo



Fuente: Construcción del Autor.

Nota: La línea corresponde al valor predicho que resulta de regresionar el logaritmo del ingreso per capita y el logaritmo del ingreso per capita al cuadrado sobre las variables de I+D.

Cuadro A.2: Fuentes Variables Capítulo 3

Variable	Fuente	Observaciones	Construido?
<b>I+D/PIB</b>	Lederman y Saenz (2003)		no
<b>Ln(I+D pc)</b>	Lederman y Saenz (2003) y Penn World Table 6.1	Gasto I+D per capita, US\$ de 1996	si
<b>Ln(PIB pc)</b>	Penn World Table 6.1	Ln(PIB Real PPP, US\$ de 1996)	no
<b>Crec. PIB</b>	Penn World Table 6.1	Crecimiento promedio PIB Real PPP en quinquenio	no
<b>Inversión K</b>	Penn World Table 6.1	% del PIB	no
<b>I+D Público</b>	Lederman y Saenz (2003)	I+D realizado por el sector público, % PIB	no
<b>Cons.Gob.</b>	World Development Indicators	% del PIB	no
<b>Escol.Prom.</b>	Barro y Lee (2001)	Años de Educación Prom. Población Total	no
<b>Ln(Fza.Lab.)</b>	World Development Indicators	Población en edad de trabajar (15-64 años)	si
<b>Índice Prop.Int.</b>	Ginarte and Park (19XX)	Índice subjetivo, valor entre 0-5	no
<b>Crédito Dom.</b>	International Financial Statistics	% del PIB	si
<b>DE(Crec.PIB)</b>	Penn World Table 6.1	Desviación Estándar en el quinquenio	si
<b>DE(Inflation)</b>	World Development Indicators	Desviación Estándar en el quinquenio	si
<b>Cap.de Riesgo</b>	World Competitiveness Report	Índice subjetivo, valor entre 0-10	no
<b>Apertura</b>	Penn World Table 6.1	(Export.+Import)/PIB	si
<b>Royalties</b>	World Development Indicators	Royalties pagados, % PIB	si
<b>FDI</b>	World Development Indicators	Inv.extranjera directa (Inflows) % PIB	no
<b>Export./PIB</b>	International Financial Statistics	% del PIB	si

Fuente: Construcción del Autor.

Cuadro A.3: Gasto en I+D, Promedio por Décadas

PAÍS	I+D % PIB					I+D Per Capita			
	60-70	71-80	81-90	91-00	01-04	60-69	70-79	80-89	90-00
Alemania	-	2.22 %	2.71 %	2.35 %	2.52 %	-	320.2	475.5	500.0
Algeria	-	0.29 %	-	-	-	-	9.9	-	-
Argentina	0.53 %	0.86 %	0.31 %	0.38 %	0.41 %	41.7	84.8	26.9	40.1
Armenia	-	-	-	0.20 %	0.27 %	-	-	-	5.2
Australia	-	0.95 %	1.15 %	1.55 %	1.70 %	-	152.9	217.2	357.8
Austria	0.28 %	0.49 %	1.24 %	1.56 %	-	27.4	65.9	216.1	335.3
Azerbaijón	-	-	-	0.33 %	-	-	-	-	5.5
Bangladesh	-	0.00 %	-	0.03 %	-	-	0.0	-	0.5
Bélgica	1.01 %	1.39 %	1.62 %	1.65 %	-	103.3	196.7	289.1	350.8
Bélice	0.65 %	-	-	-	-	-	-	-	-
Bermuda	0.14 %	-	-	0.08 %	-	-	-	-	-
Bielorusia	-	-	-	0.96 %	-	-	-	-	58.0

Fuente: Cálculos del Autor.

Cuadro A.4: Gasto en I+D, Promedio por Décadas

PAÍS	I+D % PIB					I+D Per Capita			
	60-70	71-80	81-90	91-00	01-04	60-69	70-79	80-89	90-00
Bolivia	-	-	-	0.34 %	0.29 %	-	-	-	8.8
Brasil	-	0.50 %	0.56 %	0.87 %	0.99 %	-	27.5	34.3	57.4
Brunei	-	0.08 %	0.10 %	-	0.02 %	-	-	-	-
Bulgaria	-	2.66 %	2.53 %	0.80 %	-	-	-	-	52.3
Burkina Faso	-	-	-	0.16 %	-	-	-	-	1.4
Camerún	0.06 %	-	-	-	-	0.9	-	-	-
Canadá	1.24 %	1.06 %	1.36 %	1.62 %	-	166.0	180.6	282.5	380.4
Chad	0.17 %	-	-	-	-	1.9	-	-	-
Chile	-	0.38 %	0.44 %	0.57 %	0.62 %	-	20.2	23.5	48.6
China	-	-	0.74 %	0.73 %	1.26 %	-	-	12.8	21.0
Chipre	-	0.09 %	0.09 %	0.22 %	0.32 %	-	7.0	7.7	24.7
Colombia	-	0.05 %	0.11 %	0.27 %	-	-	1.9	4.7	14.6
Corea del Sur	0.34 %	0.49 %	1.36 %	2.41 %	-	7.4	20.8	104.0	324.8
Costa de Marfil	0.29 %	-	-	-	-	6.0	-	-	-
Costa Rica	-	0.23 %	0.24 %	0.28 %	-	-	12.0	11.5	15.5
Croacia	-	-	-	1.06 %	1.11 %	-	-	-	89.4
Cuba	-	-	-	0.47 %	0.62 %	-	-	-	19.8
Dinamarca	-	0.93 %	1.28 %	1.87 %	2.52 %	-	166.2	260.3	451.2
Ecuador	0.26 %	0.76 %	0.39 %	0.07 %	0.06 %	5.9	29.2	14.6	2.6
EEUU	2.77 %	2.24 %	2.66 %	2.59 %	2.69 %	416.6	430.4	635.2	755.3
Egipto	-	2.87 %	2.14 %	2.01 %	-	-	55.8	66.2	75.6
El Salvador	-	1.51 %	1.54 %	0.73 %	-	-	63.8	55.0	29.2
Eslovenia	-	-	-	1.54 %	1.56 %	-	-	-	205.6
España	0.19 %	0.28 %	0.57 %	0.84 %	1.03 %	14.4	30.3	72.9	133.2
Estonia	-	-	-	0.67 %	-	-	-	-	51.8
Filipinas	0.14 %	0.20 %	0.16 %	0.19 %	0.11 %	3.1	5.7	4.9	5.5
Finlandia	0.71 %	0.93 %	1.62 %	2.60 %	3.47 %	75.6	125.0	296.1	526.2
Francia	1.88 %	1.73 %	2.18 %	2.29 %	2.22 %	199.5	250.9	388.9	468.2
French Polynesia	0.27 %	0.23 %	0.19 %	-	-	-	-	-	-
Georgia	-	-	-	0.29 %	0.27 %	-	-	-	14.5
Ghana	0.11 %	-	-	-	-	1.0	-	-	-
Grecia	0.15 %	0.16 %	0.24 %	0.50 %	0.62 %	9.9	19.0	28.1	64.6
Guatemala	0.15 %	0.21 %	0.34 %	-	-	4.2	7.0	12.5	-
Guinea	-	-	-	0.46 %	-	-	-	-	12.8
Guyana	-	0.06 %	0.20 %	-	-	-	1.6	5.1	-
Holanda	1.88 %	1.87 %	1.99 %	1.95 %	1.84 %	228.0	282.2	342.0	420.1
Honduras	0.35 %	-	-	0.05 %	0.05 %	6.1	-	-	1.1
Hong Kong	0.05 %	-	-	0.41 %	0.58 %	2.1	-	-	104.1
Hungría	1.87 %	2.81 %	2.27 %	0.82 %	0.95 %	121.4	206.0	210.0	73.7
India	0.24 %	0.43 %	0.74 %	0.68 %	-	2.3	4.8	10.6	12.5
Indonesia	-	0.20 %	0.26 %	0.08 %	0.05 %	-	3.1	5.7	2.7
Iran	-	-	0.15 %	0.46 %	0.67 %	-	-	6.3	21.3
Irlanda	0.51 %	0.69 %	0.78 %	1.24 %	-	32.3	59.5	88.8	225.6
Iseland	0.40 %	0.52 %	0.77 %	1.75 %	3.03 %	45.3	78.7	153.6	390.3
Israel	1.01 %	1.75 %	2.92 %	3.12 %	4.79 %	74.6	185.9	358.9	495.9
Italia	0.68 %	0.78 %	1.09 %	1.09 %	1.14 %	67.3	102.8	186.2	223.2
Jamaica	-	-	0.04 %	-	0.06 %	-	-	1.4	-
Japón	1.51 %	1.97 %	2.65 %	2.87 %	3.11 %	118.7	270.6	491.4	679.6
Jordania	-	0.48 %	0.22 %	-	-	-	15.0	9.5	-
Kazajastán	-	-	-	0.34 %	-	-	-	-	19.3
Kenia	0.003 %	-	-	-	-	0.02	-	-	-
Kuwait	-	0.34 %	0.87 %	0.24 %	-	-	-	-	43.6
Kyrgyz Republic	-	-	-	0.22 %	0.19 %	-	-	-	6.0
Latvia	-	-	-	0.45 %	-	-	-	-	28.5
Lesotho	-	-	-	-	0.01 %	-	-	-	-
Lithuania	-	-	-	0.66 %	-	-	-	-	42.6
Luxembourg	-	-	-	1.71 %	1.81 %	-	-	-	752.3
Macedonia	-	-	-	0.40 %	0.29 %	-	-	-	19.5

Fuente: Cálculos del Autor.

Cuadro A.5: Gasto en I+D, Promedio por Décadas (Cont.)

PAÍS	I+D % PIB					I+D Per Capita			
	60-69	70-79	80-89	90-00	01-04	60-69	70-79	80-89	90-00
Madagascar	0.48 %	0.31 %	0.25 %	0.21 %	-	5.7	3.7	2.4	1.8
Malawi	0.01 %	-	-	-	-	0.1	-	-	-
Malaysia	-	-	0.09 %	0.36 %	0.69 %	-	-	5.3	31.6
Malta	0.27 %	0.12 %	0.00 %	0.08 %	0.28 %	-	-	-	-
Marruecos	-	-	-	0.32 %	0.66 %	-	-	-	12.3
Mauritius	-	0.44 %	0.36 %	0.30 %	0.38 %	-	25.3	25.0	39.0
México	0.17 %	0.20 %	0.33 %	0.33 %	0.40 %	8.8	12.1	24.3	25.8
Moldova	-	-	-	0.84 %	-	-	-	-	19.3
Mongolia	-	-	-	0.20 %	0.27 %	-	-	-	-
Mozambique	-	-	-	-	0.59 %	-	-	-	-
Myanmar	-	-	-	0.06 %	0.07 %	-	-	-	-
Nepal	-	-	-	-	0.66 %	-	-	-	-
Nicaragua	-	-	0.18 %	0.13 %	-	-	-	5.2	2.3
Nigeria	0.20 %	0.33 %	0.14 %	-	-	2.1	3.9	1.4	-
Noruega	0.89 %	1.15 %	1.46 %	1.69 %	1.67 %	93.2	165.9	275.1	404.3
Nva.Caledonia	0.01 %	0.00 %	0.31 %	-	-	-	-	-	-
Nva.Zelanda	-	0.80 %	0.94 %	1.02 %	1.15 %	-	119.5	153.4	171.4
Pakistán	0.34 %	0.22 %	0.91 %	0.13 %	0.20 %	2.5	2.2	13.0	2.5
Panamá	-	-	0.19 %	0.36 %	-	-	-	9.6	20.7
Paraguay	-	-	-	-	0.09 %	-	-	-	-
Perú	-	0.21 %	0.18 %	0.05 %	-	-	10.5	8.4	2.2
Polonia	-	-	1.42 %	0.75 %	-	-	-	93.6	57.2
Portugal	0.26 %	0.29 %	0.39 %	0.66 %	0.81 %	12.0	22.4	40.7	95.2
Reino Unido	2.31 %	2.06 %	2.20 %	1.97 %	1.89 %	226.1	275.5	364.4	389.8
Rep.Checa	-	-	-	1.31 %	-	-	-	-	168.1
Rep.Eslovaca	-	-	1.75 %	1.18 %	0.58 %	-	-	209.6	115.8
Romania	-	-	0.64 %	0.67 %	0.39 %	-	-	34.3	29.5
Rusia	-	-	2.02 %	0.95 %	1.22 %	-	-	-	74.1
Samoa	-	0.51 %	-	-	-	-	-	-	-
Senegal	-	-	-	0.02 %	-	-	-	-	0.3
Seychelles	-	-	-	-	0.11 %	-	-	-	-
Singapur	0.06 %	0.21 %	0.66 %	1.40 %	2.17 %	1.9	20.3	102.8	246.5
Siria	-	-	-	0.88 %	-	-	-	-	34.8
Sri Lanka	0.18 %	0.16 %	0.15 %	0.17 %	-	2.7	2.6	3.2	5.4
St. Lucia	-	-	-	0.58 %	-	-	-	-	36.2
St. Vincent	-	-	2.89 %	-	0.10 %	-	-	124.4	-
Sudáfrica	-	-	0.78 %	0.72 %	0.76 %	-	-	61.3	54.1
Sudán	0.26 %	0.24 %	-	0.50 %	0.38 %	-	-	-	-
Suecia	1.25 %	1.63 %	2.65 %	3.42 %	4.00 %	164.5	259.8	498.2	726.0
Suiza	1.66 %	2.15 %	2.47 %	2.71 %	-	305.1	454.4	579.7	684.5
Tailandia	0.81 %	0.33 %	0.26 %	0.16 %	0.26 %	10.3	8.8	8.9	10.5
Taiwan	-	0.77 %	1.12 %	1.85 %	-	-	43.9	96.7	261.1
Togo	-	-	0.76 %	0.45 %	-	-	-	9.8	4.1
Trin. and Tobago	0.29 %	-	-	0.13 %	-	19.3	-	-	11.8
Túnez	0.03 %	-	-	0.30 %	-	0.7	-	-	17.1
Turquía	0.24 %	0.40 %	0.41 %	0.49 %	0.69 %	8.6	17.8	20.4	31.2
Ucrania	-	-	-	1.08 %	-	-	-	-	49.0
Uganda	-	-	-	0.63 %	-	-	-	-	5.2
Uruguay	0.05 %	0.20 %	0.25 %	0.22 %	-	2.6	12.1	18.2	20.6
Venezuela	0.13 %	0.37 %	0.32 %	0.39 %	-	13.8	31.4	22.9	27.2
Vietnam	-	-	0.54 %	-	0.19 %	-	-	-	-
Yugoslavia	-	-	-	1.11 %	-	-	-	-	-
Zambia	0.13 %	0.47 %	-	0.01 %	-	1.8	6.7	-	0.1
Observaciones	53	64	73	99	64	47	56	65	93

Fuente: Cálculos del Autor.

Cuadro A.6: Correlaciones

	(1)	(2)	(3)	(4)	(5)	(6)	(7)	(8)	(9)	(10)	(11)	(12)	(13)	(14)
(1) I+D/PIB	1.00	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
(2) Log(I+D pc)	0.98*	1.00	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
(3) Log(PIB pc)	0.82*	0.88*	1.00	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
(4) Inversión/PIB	0.45*	0.47*	0.49*	1.00	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
(5) I+D Publico	-0.68*	-0.68*	-0.60*	-0.32*	1.00	-	-	-	-	-	-	-	-	-
(6) Cons. de Gob.	0.70*	0.68*	0.58*	0.33*	-0.47*	1.00	-	-	-	-	-	-	-	-
(7) Escolar. Prom.	0.65*	0.66*	0.72*	0.23	-0.30*	0.37*	1.00	-	-	-	-	-	-	-
(8) Log(Fza. Lab.)	-0.12	-0.10	-0.15	-0.14	0.05	-0.44*	-0.38*	1.00	-	-	-	-	-	-
(9) Der. de Prop.	0.72*	0.77*	0.72*	0.30*	-0.60*	0.54*	0.47*	-0.01	1.00	-	-	-	-	-
(10) Créd. a Priv	0.60*	0.62*	0.52*	0.50*	-0.49*	0.31*	0.27	0.18	0.54*	1.00	-	-	-	-
(11) Cap. de Riesgo	0.61*	0.60*	0.55*	0.38*	-0.38*	0.44*	0.41*	-0.07	0.43*	0.50*	1.00	-	-	-
(12) DE(Crec.PIB)	-0.30*	-0.32*	-0.32*	-0.49*	0.18	-0.24	-0.21	-0.06	-0.31*	-0.45*	-0.43*	1.00	-	-
(13) Apertura	0.09	0.07	0.10	0.27	-0.09	0.42*	0.16	-0.65*	0.08	0.04	0.26	-0.17	1.00	-
(14) Royalt. Pag.	0.37*	0.37*	0.30*	0.38*	-0.38*	0.36*	0.13	-0.19	0.37*	0.35*	0.31*	-0.13	0.34*	1.00
(15) IED	-0.31*	-0.29*	-0.24	-0.19	0.35*	-0.18	0.05	-0.29*	-0.10	-0.24	0.01	0.14	0.32*	0.16

*Fuente:* Estimaciones del Autor.

*Nota:* La significancia de las correlaciones se calculó utilizando el contraste de Spearman. \* Significativo al 5 %

Cuadro A.7: Crecimiento del Ingreso per capita promedio, 1990-2000

Pais	Crec.	Pais	Crec.	Pais	Crec.
Equatorial Guinea	9.3 %	Mali	2.5 %	Germany	1.6 %
China	7.4 %	Hong Kong, China	2.5 %	Belize	1.5 %
Ireland	6.2 %	Antigua and Barbuda	2.5 %	New Zealand	1.5 %
Lebanon	5.8 %	Peru	2.5 %	Guinea	1.5 %
St. Kitts and Nevis	5.5 %	Indonesia	2.5 %	Lesotho	1.5 %
Dominican Republic	5.1 %	Trinidad and Tobago	2.4 %	Brazil	1.5 %
Luxembourg	4.9 %	Australia	2.4 %	Pakistan	1.4 %
Chile	4.8 %	Malawi	2.3 %	Macao, China	1.4 %
Korea, Rep.	4.7 %	Dominica	2.3 %	Ghana	1.3 %
Mauritius	4.4 %	El Salvador	2.3 %	Seychelles	1.3 %
Iran, Islamic Rep.	4.3 %	United States	2.3 %	Philippines	1.3 %
Argentina	4.2 %	Netherlands	2.2 %	Sweden	1.3 %
Malaysia	4.2 %	Spain	2.2 %	Burkina Faso	1.2 %
India	3.9 %	Israel	2.2 %	Italy	1.2 %
Thailand	3.5 %	Greece	2.0 %	Jordan	1.2 %
Poland	3.3 %	Denmark	2.0 %	St. Lucia	1.2 %
Cape Verde	3.2 %	Barbados	2.0 %	Mozambique	1.1 %
Tunisia	3.2 %	Panama	2.0 %	France	1.1 %
Uganda	3.2 %	Benin	1.9 %	Bolivia	1.1 %
Nepal	2.9 %	United Kingdom	1.9 %	Japan	1.0 %
St. Vincent	2.9 %	Slovenia	1.9 %	Ethiopia	1.0 %
Uruguay	2.8 %	Canada	1.9 %	Colombia	0.9 %
Norway	2.8 %	Belgium	1.8 %	Guatemala	0.8 %
Bangladesh	2.8 %	Austria	1.8 %	Hungary	0.8 %
Syrian Arab Republic	2.7 %	Mexico	1.8 %	Senegal	0.7 %
Sri Lanka	2.7 %	Costa Rica	1.7 %	Guinea-Bissau	0.5 %
Grenada	2.7 %	Turkey	1.7 %	Morocco	0.5 %
Portugal	2.6 %	Iceland	1.6 %	Switzerland	0.1 %
Egypt, Arab Rep.	2.5 %	Finland	1.6 %	Czech Republic	0.1 %

Fuente: Estimaciones del Autor en base a información de *Penn World Table 6.1*.