

Financiamiento sostenido de la actividad científico-tecnológica como clave para el desarrollo económico.

Prof. Dr. Fernando D. Stefani fernando.stefani@df.uba.ar

01/09/2017

Departamento de Física, Facultad de ciencias Exactas y Naturales, Universidad de Buenos Aires

Centro de Investigaciones en Bionanociencias (CIBION), Consejo Nacional de Investigaciones Científicas y Técnicas (CONICET)

<http://www.nano.df.uba.ar/>

A Argentina le urgen estrategias de desarrollo económico que generen bienestar para toda su población. Su economía basada fuertemente en recursos naturales, incluyendo a la agricultura y la ganadería, es insuficiente, y frágil ante eventos climáticos y variaciones de precios internacionales. Asimismo, pierde valor año tras año frente a productos de base tecnológica.

Que el desarrollo económico y el bienestar están ligados de modo directo al dominio de la ciencia y la tecnología es hoy en día más evidente que nunca. La alta tecnología está presente en cada producto y servicio que utilizamos: telefonía celular e internet, transporte, equipamiento médico, alimentos, medicamentos, dispositivos hogareños, deportes y entretenimiento, por mencionar algunos. Para Bernardo Houssay, ya en 1967 lo expresaba de este modo:

“La disyuntiva es clara: o bien se cultiva la ciencia, la técnica y la investigación y el país es próspero, poderoso y adelanta; o no se la practica debidamente y el país se estanca y retrocede, vive en la pobreza y la mediocridad. Los países ricos lo son porque dedican dinero al desarrollo científico tecnológico. Y los países pobres lo siguen siendo si no lo hacen. La ciencia no es cara, cara es la ignorancia”.

Recientemente, la sociedad argentina ha comenzado a asimilar este concepto, llevando a la ciencia a un lugar de importancia sin precedentes en la opinión pública. Esto ha quedado acreditado por una serie de hechos. En 2015, por primera vez en nuestra historia, los dos candidatos finalistas a la presidencia manifestaron una visión que implicaba impulsar el desarrollo económico en base al conocimiento. Daniel Scioli declaró que elevaría la inversión en ciencia y tecnología al 1% del PBI, mientras que Mauricio Macri publicó un documento con una serie de medidas que promoverían la generación de conocimiento y la transferencia de tecnología a la industria, incluyendo el aumento de la inversión en el sector hasta el 1,5 % del PBI. Sin embargo, a casi dos años de gobierno, no se ven señales que indiquen este rumbo. Por el contrario, el presupuesto destinado a ciencia y tecnología se ha visto disminuido en su poder de compra frente a la inflación. Como respuesta, en 2017, varios proyectos de ley fueron tratados en el Congreso Nacional que apuntan garantizar una partida

presupuestaria a la función ciencia y técnica. Uno de ellos obtuvo media sanción del Senado el 23 de agosto pasado.

Sin embargo, la dirigencia política aún no logra consenso para realizar esta inversión y encarar un proceso de desarrollo en base a ciencia y tecnología. La discusión profunda se ve desplazada por la urgencia de otras necesidades y porque los efectos de la inversión en investigaciones científicas y desarrollos tecnológicos son de plazos mucho más largos que los períodos electorales. Se requiere de análisis históricos y visión estadística.

En este trabajo, analizo datos históricos de crecimiento económico e inversión en investigaciones científicas y desarrollos tecnológicos de distintos países, que muestran una clara correlación entre estas dos variables. Describo los tres mecanismos básicos por los que la ciencia y la tecnología generan crecimiento económico, y las características que debe cumplir una estrategia de inversión que los impulse.

¿Cuánto invierte cada país en ciencia y tecnología?

Afortunadamente, existen en la actualidad un número de instituciones que relevan y hacen públicos datos e indicadores de económicos y de actividad científica, que permiten responder a esta pregunta con bastante precisión. En este trabajo se usaron las siguientes fuentes de información:

- Banco Mundial <http://data.worldbank.org/indicator/GB.XPD.RSDV.GD.ZS>
- Instituto de Estadísticas de la Organización de las Naciones Unidas para la Educación, la Ciencia y la Cultura (UNESCO) <http://data.uis.unesco.org/>
- Index Mundi <https://www.indexmundi.com/facts/indicators/GB.XPD.RSDV.GD.ZS>
- Google Public Data <https://www.google.com.ar/publicdata/directory?hl=en&dl=en#!st=METRIC>

El mapa de la Figura 1 muestra la situación global actual, indicando en una escala de colores la inversión que cada país realiza en investigación científica y desarrollos tecnológicos (I+D), como porcentaje de su Producto Bruto Interno (PBI). El PBI expresa el valor monetario de toda la producción de bienes y servicios de consumo final de un país. Es una medida del tamaño de la economía de cada país. Esta visualización muestra entonces la importancia que cada país le da a la inversión en I+D, de acuerdo a sus propias capacidades. En otras palabras, indica para cada país qué parte de la riqueza generada es invertida en I+D.

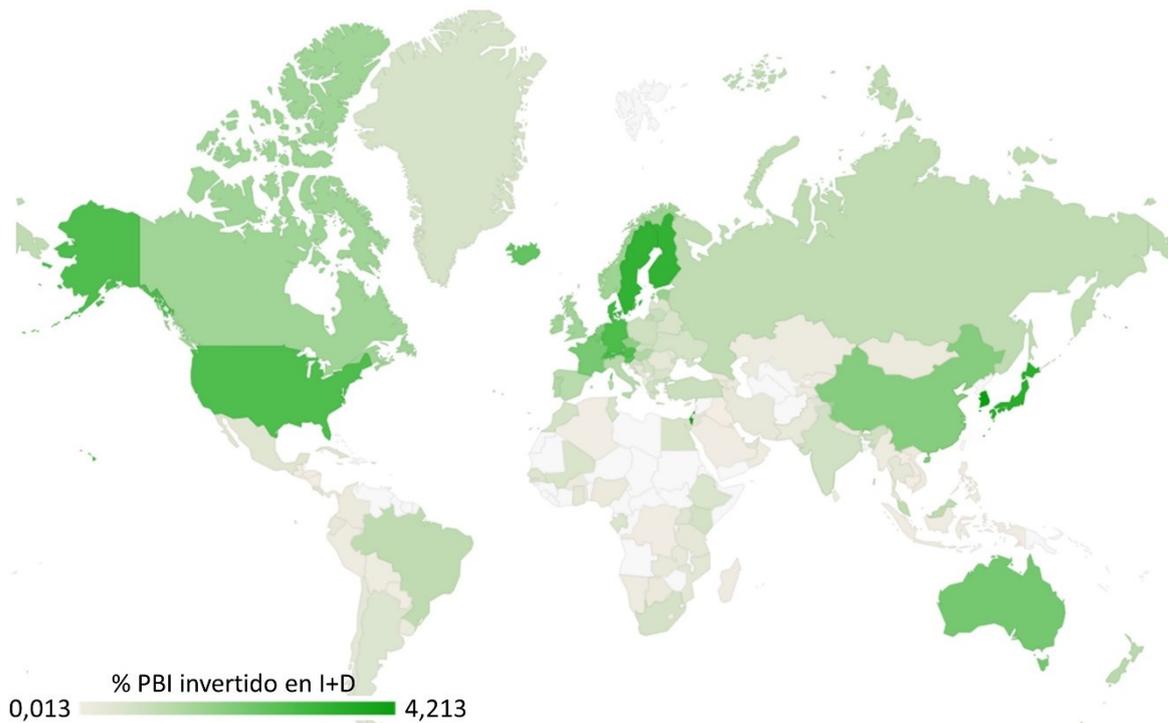


Figura 1. Inversión en investigación científica y desarrollos tecnológicos de cada país, como porcentaje de su PBI, en escala de colores desde 0,013% hasta 4,213%. Fuente: indexmundi.

Es fácil identificar a los países más desarrollados como los que más invierten en I+D. Argentina se encuentra en un nivel intermedio. Para una comparación más precisa, se puede analizar la posición global en un ranking de países según su inversión en I+D, como se muestra en la tabla 1.

Puesto	1	2	3	...	31	32	33	...	54	55	56	57	58
País	Israel	Corea del Sur	Japón	...	Brasil	Rusia	Malasia	...	Etiopía	Letonia	Argentina	Gabón	Senegal
% PBI	4,21	4,15	3,47	...	1,15	1,13	1,13	...	0,61	0,60	0,58	0,58	0,54

Tabla 1. Extracto del ranking de países según su inversión en I+D expresada como porcentaje de su PBI. Fuente: indexmundi. Ranking completo en <https://www.indexmundi.com/facts/indicators/GB.XPD.RSDV.GD.ZS/rankings>

Otra manera de interrogar el vínculo entre el desarrollo económico y la inversión en ciencia y tecnología, es graficando el PBI per cápita vs. la inversión en I+D de cada país. El PBI per cápita mide la riqueza generada por habitante. En la Figura 2 se muestran estos datos para 64 países en los años 2001 y 2014. La correlación es muy significativa. Los países que generan más riqueza por habitante son los mismos que invierten mayores fracciones de su PBI en I+D. Los países más rezagados, con PBI per cápita

menores, son lo que invierten proporciones menores. Argentina (indicado con un marcador amarillo y celeste) se encuentra en el grupo de países rezagados.

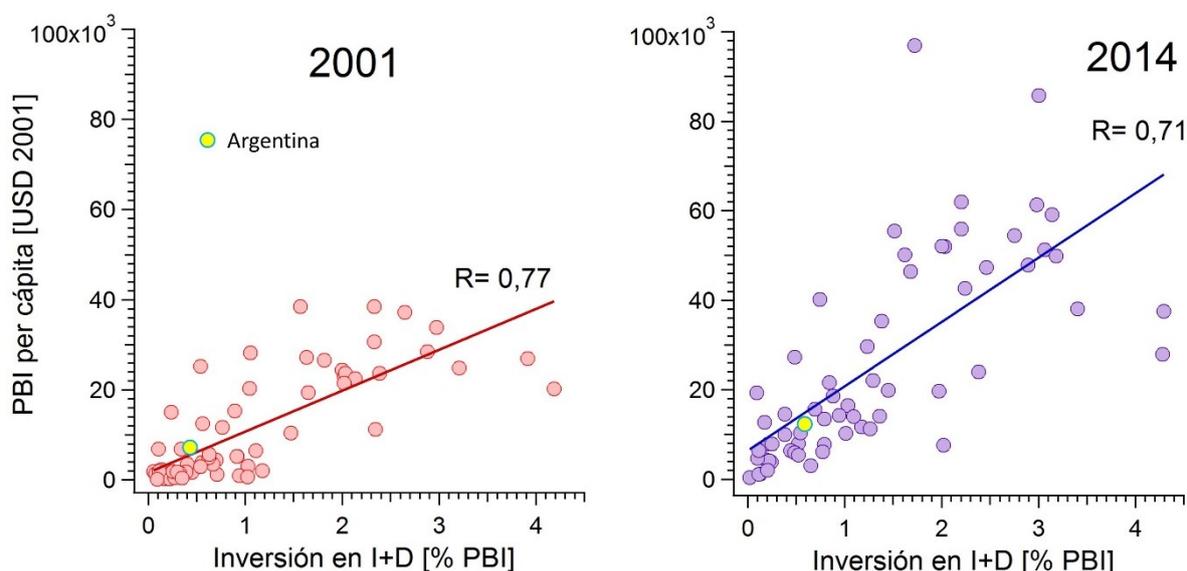


Figura 2. Gráfico de dispersión de PBI per cápita expresado en USD corrientes vs. inversión en I+D expresada en porcentaje del PBI, para 64 países. Las rectas son ajustes lineales y R indica el coeficiente de correlación de Pearson, el cual toma valor cero para correlación nula, y valor 1 para correlación perfecta (todos los puntos sobre la línea). Lista de países: Argentina, Armenia, Australia, Austria, Azerbaiyán, Bielorrusia, Bélgica, Brasil, Bulgaria, Canadá, Chile, China, Hong Kong, Colombia, Croacia, Chipre, Rep. Checa, Dinamarca, Ecuador, Estonia, Finlandia, Francia, Georgia, Alemania, Grecia, Hungría, Islandia, Irlanda, Israel, Italia, Japón, Kazakstán, Kirguistán, Letonia, Lituania, Madagascar, Malasia, México, Mongolia, Holanda, Noruega, Paraguay, Perú, Polonia, Portugal, Corea del Sur, Rumania, Rusia, Serbia, Singapur, Eslovaquia, Eslovenia, España, Suecia, Suiza, Tayikistán, Tailandia, Yugoslavia, Trinidad and Tobago, Turquía, Ucrania, Reino Unido, EEUU, Uzbekistán. Fuente: UNESCO <http://data.uis.unesco.org/>

La correlación no es perfecta, por supuesto. Para un cierto nivel de inversión en I+D, existen países con PBI per cápita disímiles. Como regla general, los países con importantes recursos naturales o condiciones de comercio o financieras más favorables, obtienen mayores PBI per cápita para una dada inversión en I+D. Argentina es un ejemplo entre los países rezagados. Dentro del grupo de países que invierten entre 0,4 y 0,6 %PBI en I+D, Argentina se encuentra en la franja superior de PBI per cápita.

Es interesante ver la evolución en el tiempo de cada país en este plano. La figura 3 muestra los mismos datos de la figura 2, ahora en un mismo gráfico y con algunos países identificados, mostrando como varió su PBI per cápita y su inversión en I+D desde 2001 a 2014.

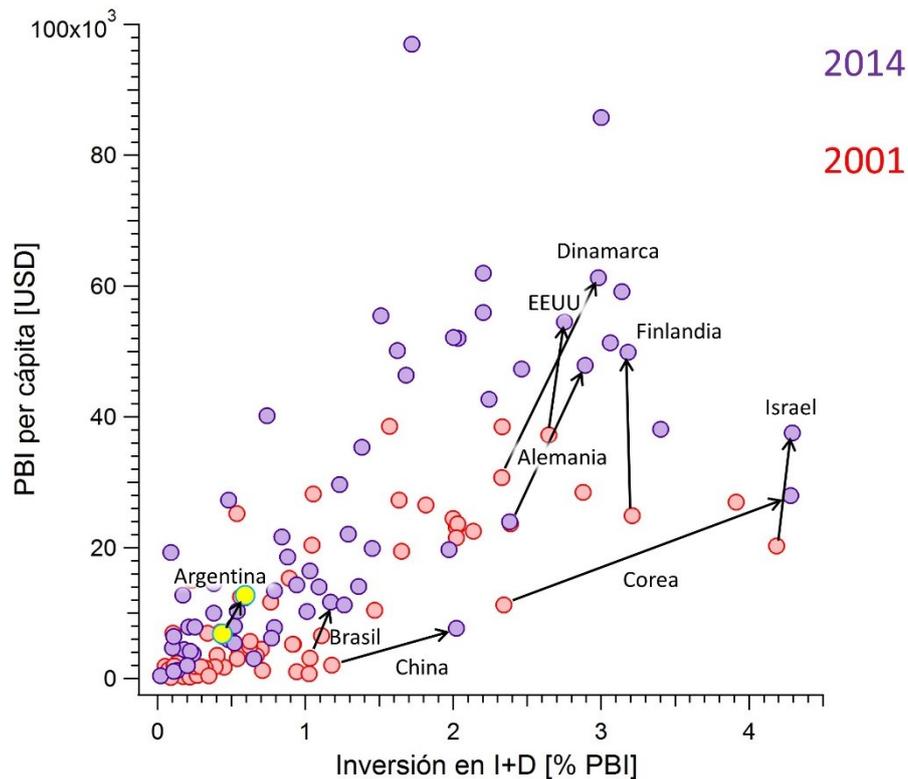


Figura 3. Evolución entre 2001 y 2014 del PBI per cápita y la inversión en I+D de 64 países (mismos datos que en la Figura 2). Los países rezagados (a la izquierda) invierten fracciones menores de sus PBI en I+D y obtienen incrementos menores en sus PBI per cápita. En esta región se agrupa la mayoría de los países. Un grupo menor constituyen los países desarrollados, que invierten fracciones mayores de sus PBI en I+D y obtienen incrementos superiores de sus PBI per cápita. Un grupo menor de solo algunos países se encuentran apostando al desarrollo invirtiendo más en I+D, como p.e. China y Corea del Sur.

Al analizar las trayectorias de los países individuales, pueden identificarse básicamente tres grupos:

i) **Los países rezagados**, se mantienen a la izquierda del gráfico porque en el período 2001-2014 invirtieron fracciones pequeñas de sus PBI en I+D. En el gráfico se indica como ejemplo a Argentina que se encuentra en el centro de este grupo, que contiene a la mayor cantidad de países y que son los que obtuvieron incrementos nominales menores de sus PBI per cápita.

ii) **Los países desarrollados**, son los que ya en 2001 invertían fracciones mayores de sus PBI en I+D. Estos se encuentran a la derecha del gráfico, y son los que presentan aumentos mayores de sus PBI per cápita. Se indican como ejemplos: Alemania, Dinamarca, EEUU, Finlandia, Israel.

iii) **Los países que se encuentran apostando al desarrollo en base a I+D.** Existe un tercer grupo, de muy pocos países, que en este período se encuentran apostando a una mayor inversión en I+D. Estos países se trasladan en el gráfico de izquierda a derecha, y de abajo hacia arriba, como por ejemplo China y Corea del Sur.

La proporción del PBI invertida indica la prioridad que cada país asigna a la I+D, pero es interesante también comparar cuanto invierte cada país en I+D, por habitante, en términos absolutos. Para este tipo de análisis se usa la inversión en I+D medida en PPP (paridad del poder adquisitivo, por sus siglas en inglés) y normalizada por la población. El PPP iguala el poder de compra de distintas monedas teniendo en cuenta los diferentes niveles de precios entre países. La tabla 2 muestra estos datos para 14 países abarcando todo el espectro de niveles de inversión actual.

País	Corea del Sur	Israel	EEUU	Japón	Alemania	Italia	China	Rusia	Brasil	Argentina	Ecuador	Namibia
PPP / cápita	1378	1328	1268	1132	1068	379	229	169	158	99	43	29

Tabla 2. Fuente: UNESCO <http://data.uis.unesco.org/>

Los países más desarrollados invierten por encima de los 1000 PPP/cápita en I+D. Argentina en este momento invierte alrededor de 100 PPP/cápita. En términos de inversión real en I+D, la brecha entre los países rezagados y los desarrollados es aún mayor que en términos de porcentaje de PBI. En el caso de Argentina esta brecha se duplica:

- En términos de % PBI, Argentina invierte entre 5 y 7 veces menos que los países más desarrollados
- En valor absoluto Argentina invierte entre 10 y 14 veces menos

El nivel actual de inversión en I+D de Argentina es del 0.6% del PBI. En valor absoluto esto significa cerca de **3300 millones de USD por año**. Este es un monto comparable con los presupuestos anuales de instituciones individuales de países desarrollados, como puede verse en los ejemplos de la tabla 3.

Institución	Presupuesto anual (millones de USD)
Massachusetts Institute of Technology (MIT, USA) – 2017 http://web.mit.edu/facts/financial.html	3.349
Universidad de California (UC, USA) -2015 http://www.ucop.edu/operating-budget/_files/rbudget/2016-17budgetforcurrentoperations.pdf	28.500
Sociedad Max Planck (83 centros solo de investigación básica, Alemania) – 2016 https://www.mpg.de/facts-and-figures	2.000
Centro Nacional de la Investigación Científica (CNRS, Francia) – 2016 http://www.cnrs.fr/en/science-news/docs/RA2016-en.pdf Equivalente francés del CONICET	3.500
Presupuesto de ciencia y tecnología del Estado de Sao Paulo (Brasil) – 2015 http://www.fapesp.br/en/publications/2015_report.pdf (pág. 20)	14.800

Tabla 3. Presupuestos anuales de algunas instituciones para comparar contra el presupuesto nacional de Argentina en I+D.

¿Cómo evoluciona en el tiempo la inversión en ciencia y tecnología de cada país?

La figura 4 muestra la evolución desde 1996 de la inversión en I+D de algunos países de referencia. La gran mayoría de los países aumentan la fracción de su PBI destinado a I+D. La diferencia entre los países desarrollados y los rezagados es la tasa con que esta inversión es incrementada.

Los países más desarrollados aumentan la fracción de su PBI dedicada a I+D de modo prácticamente lineal con tasas de crecimiento promedio de 0,02 – 0,04 %PBI/año.

Los países rezagados, presentan en general más fluctuaciones, pero también aumentan la fracción de sus PBI dedicadas a I+D, aunque a tasas mucho menores. Por ejemplo Argentina viene aumentando la fracción de su PBI dedicada a I+D de modo prácticamente lineal con una tasa de crecimiento de 0,01 %PBI/año. Brasil lo hace con una tasa de 0,014 %PBI/año. Es decir, a un ritmo entre 2 y 4 veces más lento que los países desarrollados.

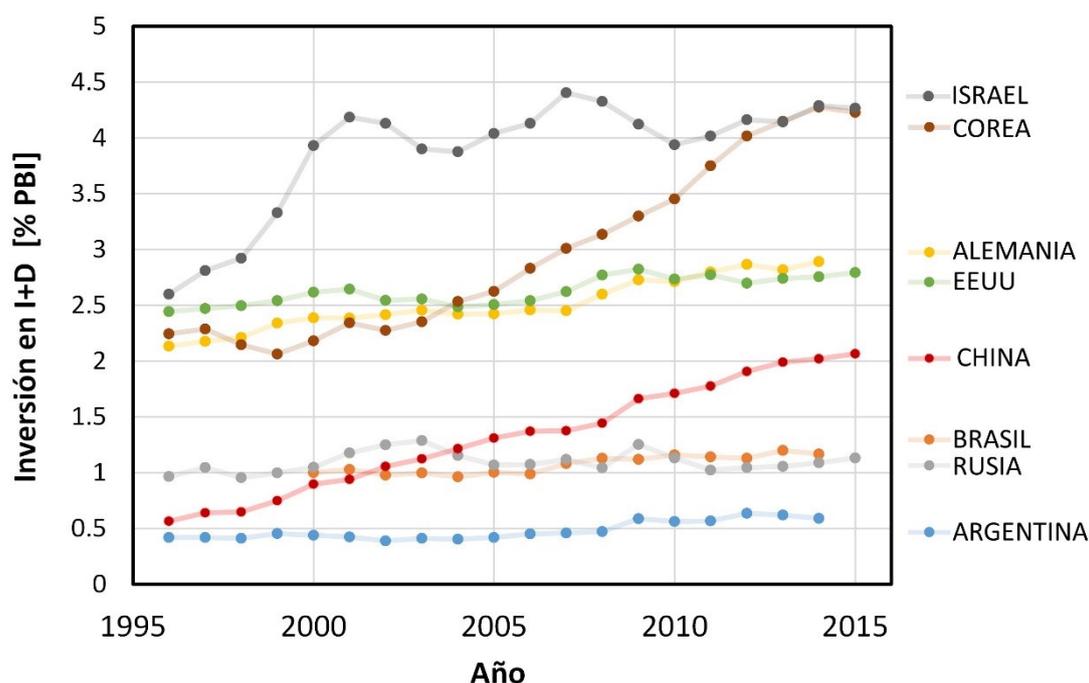


Figura 4. Evolución de la inversión en I+D expresada en porcentaje del PBI para 7 países de referencia. Fuente: UNESCO <http://data.uis.unesco.org/>

Por último, está el grupo de países que apuestan a un desarrollo en base al conocimiento. Estos han aumentado su inversión en I+D a tasas muy superiores a las que aplican los países desarrollados para sostener su hegemonía. Por ejemplo Israel, entre 1996 y 2001 aumentó su inversión en I+D a una tasa de 0,32 %PBI/año, es decir casi 10 veces más rápido que los países desarrollados. Corea del Sur viene

desarrollando una estrategia de desarrollo en base a conocimiento de manera sostenida, con una tasa de incremento de su inversión en I+D promedio de 0,13 %PBI/año, es decir aproximadamente 5 veces más rápido que los países desarrollados. China es otro país que apuesta a la investigación científica y desarrollos tecnológicos para sostener su crecimiento; viene aumentando su inversión en I+D a una tasa de 0,08 %PBI/año, es decir aproximadamente 3 veces más rápido que los países desarrollados. Estos datos se resumen en la tabla 4.

País	Corea del Sur	Israel	China	Alemania	EEUU	Brasil	Argentina
Tasa promedio de incremento de la inversión en I+D [% PBI / Año]	0,11	0,09	0,08	0,04	0,02	0,01	0,01

Tabla 4. Tasa promedio (1996-2014) de incremento de la inversión en I+D. Fuente: UNESCO <http://data.uis.unesco.org/>

En términos del número de investigadores, Argentina también se encuentra en niveles muy por debajo del que tienen los países desarrollados. La figura 5 muestra la evolución del número de investigadores por millón de habitantes de los mismos 7 países de referencia. Argentina tuvo un crecimiento relativo importante en el número de investigadores en el período 2003-2015, pero aún tiene 4 veces menos investigadores per cápita que Alemania, 7 veces menos que Corea del Sur, 8 veces menos que Israel.

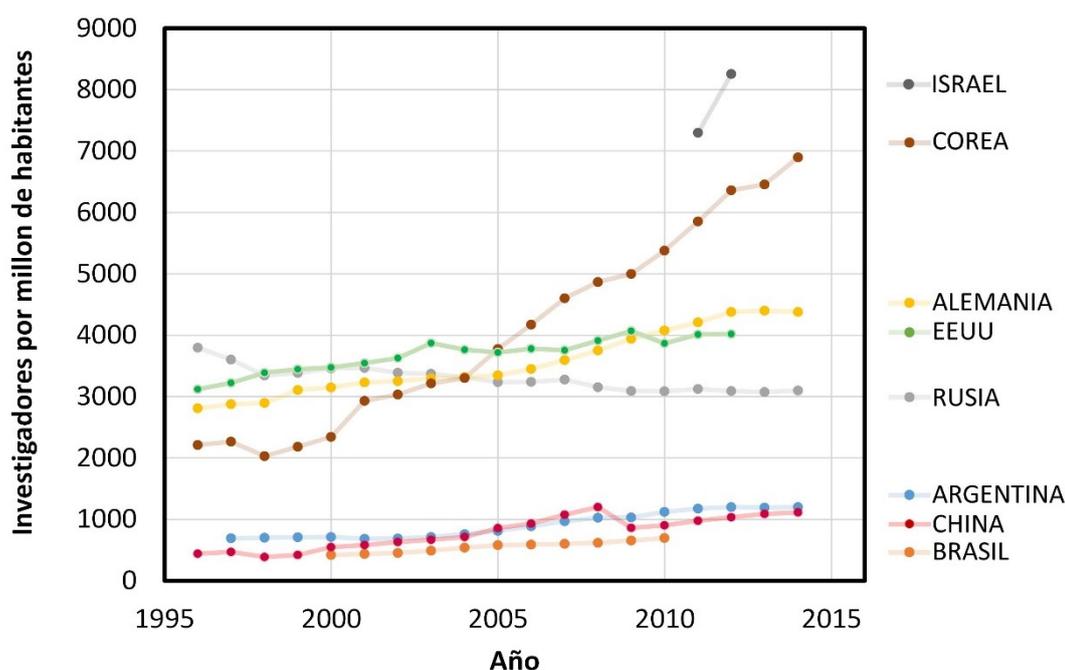


Figura 5. Evolución del número de investigadores activos por millón de habitantes para 7 países de referencia. Fuente: UNESCO <http://data.uis.unesco.org/>

¿Inversión en I+D: ¿Causa o efecto del desarrollo?

El vínculo entre la inversión en I+D y el desarrollo económico es evidente, y no es plausible que una correlación tan significativa se dé por casualidad en un universo de países tan disímiles histórica y culturalmente. En consecuencia, debe existir una relación de causalidad entre el PIB per cápita y la inversión en I+D. Pero en rigor, es válido preguntarse en qué dirección ocurre esta causalidad. ¿La inversión en I+D conlleva a un desarrollo económico? ¿O es al revés? Que los países desarrollados invierten más en I+D por gusto, tradición o cultura, simplemente porque cuentan con los recursos disponibles. La respuesta aparece como evidente cuando se considera que en el sistema económico mundial no se hacen inversiones sin una expectativa de retorno. Mucho menos inversiones que se incrementan de manera sostenida durante décadas.

Trazar desde sus orígenes el desarrollo económico de la mayoría de los países desarrollados es posible pero requiere de estudios históricos, ya que su inversión en I+D se remonta a siglos atrás. Numerosos estudios han explicado el impacto de la ciencia y la técnica en el desarrollo económico, en distintos estadios de la Historia. Desde tiempos remotos las civilizaciones más prósperas han sido las que tuvieron las mejores tecnologías de armamento, transporte y navegación, materiales, comunicación, manufactura y salud. En la actualidad esto se ha intensificado. La ciencia y la tecnología están presentes en todas las áreas y productos de la actividad humana.

Existen algunos pocos casos de desarrollo económico recientes, que han podido ser registrados con mediciones precisas de variables económicas. Un caso ejemplar es el de Corea del Sur, que comenzando con un PBI per cápita del orden de 100 USD en la década del 70, y con mínima experiencia o tradición científico-tecnológica, llevó adelante políticas de Estado en I+D para un desarrollo científico e industrial durante décadas, y con gran éxito. Hoy el PBI per cápita supera los 30.000 USD. El caso ha sido estudiado exhaustivamente, demostrando que la inversión sostenida y planificada en I+D es un camino viable y estable hacia el desarrollo económico (p.e. Suh, J.; Chen, D. H. C. "Corea Como Una Economía Del Conocimiento. Proceso Evolutivo Y Enseñanzas", Banco Mundial en coedición con Mayol Ediciones S.A., Washington, 2008).

Otro ejemplo destacable es el del Estado de San Pablo (Brasil) que actualmente invierte en I+D un total de 14.800 millones de PPP, más de cuatro veces lo que Argentina, de los cuales 6000 millones provienen directamente de fondos públicos. San Pablo comenzó este proceso en 1947 cuando estableció en su Constitución (artículo 123) que el apoyo financiero del Estado a la actividad científica se haría a través de una fundación. Recién en 1962, el Gobernador Carvalho Pinto creó dicha Fundación (FAPESP) y le otorgó el 0,5% de toda la recaudación impositiva del Estado. En la Constitución de 1989 este monto fue aumentado al 1%. Desde ese momento hasta la actualidad, el desarrollo científico, tecnológico y económico del Estado de San Pablo ha sido extraordinario. Luego de décadas de inversión sostenida y previsible, San Pablo cuenta con cientos de empresas de base tecnológica que realizan una inversión equivalente a la inversión pública y garantizan la sustentabilidad del ecosistema científico-productivo.

Sobre los tiempos y el impacto económico de la ciencia y la tecnología

Para que una inversión en I+D tenga impacto en la economía, debe ser sostenida en el tiempo. Esto se debe a que la generación de conocimiento y el desarrollo de tecnologías son actividades de largo plazo, que se desarrollan gradualmente usando como base el conocimiento ya adquirido.

La ciencia y la tecnología tienen impacto en la actividad económico-productiva de tres maneras básicas, cada una con tiempos característicos e impactos diferentes:

1) Aplicación de tecnologías existentes. Llevar al mercado un nuevo producto o proceso usando tecnologías ya existentes demora típicamente entre **1 y 7 años**, dependiendo de la complejidad. Ejemplos: desarrollo de un nuevo software; instalación de una planta (agro-)industrial o línea de producción; diseño, prototipado y producción de un dispositivo análogo a uno existente; autorización de un nuevo uso para una droga ya aprobada para uso en humanos.

La aplicación de tecnologías existentes aumenta la eficiencia y productividad, genera más valor agregado y puestos de trabajo de mayor calidad, y tiene el potencial de generar divisas a través de exportaciones y sustitución de importaciones. Este es el enfoque prioritario de los países rezagados, como Argentina, que siguen el desarrollo tecnológico con años o décadas de retraso. En términos de inversión en I+D, esto es lo mínimo necesario para subsistir en la economía actual.

Un país o una empresa tiene dos maneras de aplicar este tipo de inversiones: comprando la tecnología afuera o desarrollándola localmente. La primera opción es más rápida para alcanzar los objetivos pero más costosa en el largo plazo, ya que genera dependencia en actualizaciones y reparaciones. La segunda opción, es más lenta y puede requerir una inversión inicial mayor, pero tiene importantes beneficios a largo plazo: genera conocimiento y personal especializado localmente, brinda independencia para actualizaciones y adaptaciones a nuevas necesidades/productos, y lo más importante, abre el camino al desarrollo de nuevas tecnologías propias, sobre la base de las desarrolladas (ver siguiente punto).

2) Innovación tecnológica fruto de investigación aplicada. La generación de un producto o proceso (agro) industrial hasta ahora inexistente, usando como base una nueva tecnología o una combinación novedosa de tecnologías, es un desarrollo que puede tomar entre **5 y 30 años**. Ejemplos: descubrimiento y aprobación de una nueva droga/vacuna para uso humano; optimización genética de especies vegetales; desarrollo de nuevos materiales con fines específicos (ultralivianos, biocompatibles, termoeléctricos, etc.); diseño, prototipado y producción de un dispositivo novedoso inexistente.

La innovación tecnológica a partir de investigaciones aplicadas propias es el siguiente estadio de desarrollo. Las inversiones son de más largo plazo, pero las potenciales ganancias son considerablemente mayores, ya que se genera una mayor competitividad regional e internacional. Se obtiene una posición de privilegio en el mercado con un producto exclusivo por cierto período de tiempo. Se abre la posibilidad de competir por fracciones del mercado global de productos de alto valor agregado, usando tecnologías propias, sin depender del licenciamiento de patentes internacionales.

3) **Revolución tecnológica.** Las verdaderas revoluciones tecnológicas se basan en descubrimientos **fruto de la investigación científica básica**. Si se recorre el desarrollo de cualquier revolución tecnológica se encontrará que abarcó varias vidas laborales humanas. Su desarrollo requiere de la transmisión de conocimientos de generación en generación de científicos y tecnólogos. Luego de un largo proceso de maduración e interacción virtuosa entre avances científicos y tecnológicos, se da origen a una tecnología disruptiva, **inesperada**, que cambia de manera cualitativa la calidad de vida de toda la humanidad.

Entre el descubrimiento científico original y las aplicaciones tecnológicas comerciales pueden transcurrir entre **20 y 120 años**. Ejemplo, súper breve historia del láser: En 1917 Einstein descubre teóricamente la existencia de la emisión estimulada. En 1960 Se construye el primer láser, se le llamó "a solution looking for a problem". En la década del 80 comienzan las aplicaciones comerciales masivas. Hoy usamos láseres en medicina, seguridad, computación, telecomunicaciones, internet, industria metalúrgica, entretenimiento, etc. Otros ejemplos: electricidad, antibióticos, ondas electromagnéticas (telecomunicaciones inalámbricas), cristales líquidos, relojes atómicos y relatividad (industria satelital, GPS), ingeniería genética, mecánica cuántica y física del estado sólido (electrónica basada en semiconductores, energía nuclear, resonancia magnética nuclear, etc.), internet.

Económicamente, las revoluciones tecnológicas producen un impacto enorme, e incalculable a priori. El mercado global anual de las tecnologías de la información es de alrededor de 2 billones de USD, el de semiconductores es de 300.000 millones de USD, el de los anticuerpos monoclonales ronda los 130.000 millones de USD, y el de los láseres los 10.000 millones de USD. Y todos crecen año tras año. Otros mercados emergentes tienen proyecciones de crecimiento enormes como el de secuenciado de ADN, hoy valuado en 6.000 millones, se estima que será de 24.000 millones en 2024. Y esto es solo para nombrar algunos ejemplos.

Argentina, al igual que los demás países rezagados, no participa de manera considerable en ninguno de estos mercados. Los países que obtienen las fracciones mayoritarias de los nuevos mercados generados por las revoluciones tecnológicas son los que han mantenido investigaciones científicas en esas áreas durante los períodos de desarrollo. Estos son los que cuentan con los recursos humanos y empresas capaces de asimilar la nueva tecnología en el momento comercialmente oportuno.

¿Cómo se proyecta Argentina en el contexto mundial?

Vistas las distintas tasas de incremento que aplican los países a su fracción del PBI destinado a I+D, es interesante proyectar como impactarán estos distintos comportamientos en el futuro cercano. La figura 6 muestra los datos de la figura 4, con el agregado de proyecciones lineales al año 2030 para Israel, China, Alemania y Argentina.

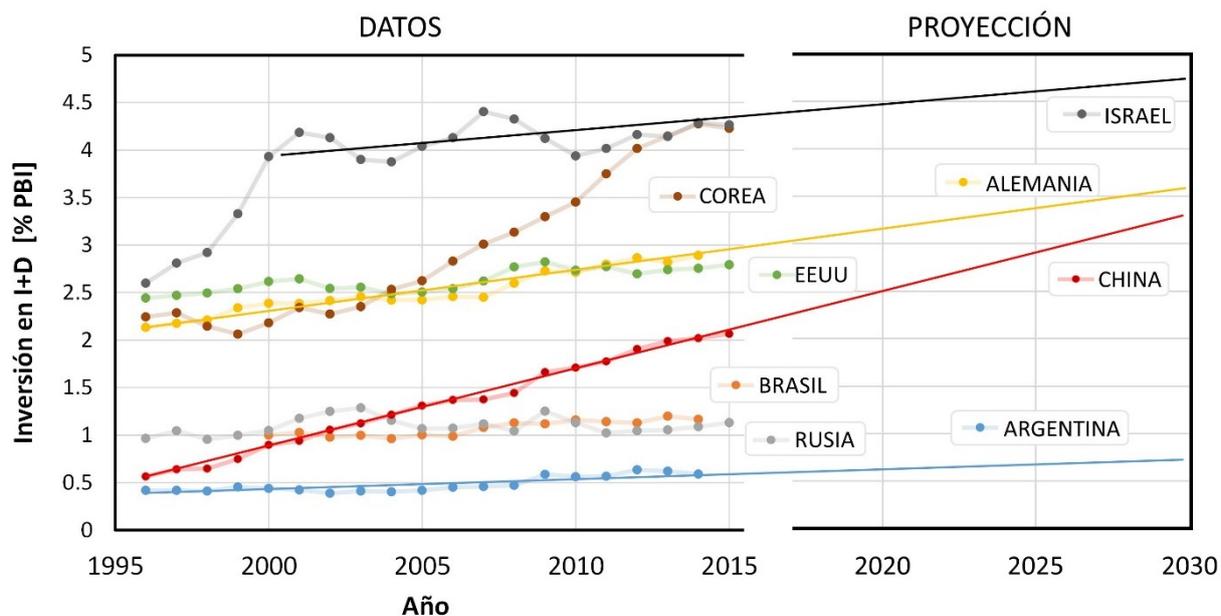


Figura 6. Proyección a 2030 de la inversión en I+D de Israel, Alemania, China y Argentina, en base a las tendencias registradas desde 1996. Los datos corresponden a UNESCO (Figura 3). Las proyecciones son lineales.

Alemania, China y Argentina vienen aplicando un incremento prácticamente lineal de la fracción de sus PBI dedicados a I+D, en todo el período desde 1996 a 2014. Israel, tuvo una estrategia de aumento de su inversión mucho más agresiva en el período 1995-2001, para luego oscilar de manera convergente hacia una pendiente similar a la de los países desarrollados.

China, con su estrategia de aumento progresivo de inversión a una tasa que duplica la de Alemania, alcanzará los niveles de inversión de EEUU aproximadamente en 2025, y de Alemania en 2032.

Argentina, viene aumentando su inversión en I+D a una tasa promedio cuatro veces inferior a la de Alemania. La brecha entre Argentina y los países desarrollados se incrementa año tras año.

¿Debe Argentina aumentar su inversión en Investigación Científica y Desarrollos Tecnológicos? Y en ese caso, ¿Cuánto? ¿Cómo?

A la Argentina le urgen estrategias de desarrollo económico sustentable. Los recursos naturales (incluidos la agricultura y la ganadería) le otorgan a Argentina una ventaja comparativa muy importante frente a otros países rezagados, pero una economía basada puramente en ellos no es suficiente para proveer de trabajo y bienestar a toda la población. Además, este tipo de economía es altamente vulnerable a factores externos como el clima y fluctuaciones de precios a nivel mundial, y pierde valor constantemente en comparación con productos tecnológicos.

La pregunta más bien es: ¿cuál sería la apuesta al desarrollo si no es basada en ciencia y tecnología? No parece existir otra opción en el contexto mundial actual. Los datos y las proyecciones de la Figura 6 son contundentes. Argentina necesita un cambio de rumbo cualitativo en términos de inversión en I+D. **Un cambio de paradigma: pasar de una mera subsistencia de su sistema científico-tecnológico a un esquema de desarrollo tecnológico basado en él.**

El primer paso, fundamental, es cambiar la estrategia de inversión en I+D, aumentándola a una tasa considerablemente mayor a la de los países desarrollados, como han hecho oportunamente p.e. Israel y Corea del Sur, o como viene haciendo desde hace décadas China.

Sumado a las promesas de campaña presidenciales, otro signo de que la sociedad argentina está madurando este cambio de paradigma es la existencia de varios proyectos de ley en el Congreso Nacional que proponen incrementar la inversión en I+D. Al igual que en la elección presidencial, el proyecto que más consenso ha obtenido hasta el momento es el que propone la mayor inversión en ciencia y tecnología. El Senador por Santa Fé, y Presidente de la Comisión de ciencia y tecnología del Senado, Omar Perotti, presentó un proyecto de ley que propone el incremento gradual y sostenido de la partida presupuestaria dedicada a la función “ciencia y Técnica”, llevándola hasta el 3% del PBI en 2030. Este proyecto obtuvo el 23/08/2017 media sanción del Senado.

Es importante notar que la función “ciencia y Técnica” del presupuesto nacional no es exactamente lo mismo que la inversión total en I+D. La inversión total en I+D de un país incluye aportes privados, sobre los cuales no puede legislarse directamente. La partida presupuestaria dedicada a la función “ciencia y Técnica” sí puede regularse mediante una ley.

Actualmente, la función “ciencia y Técnica” del presupuesto nacional equivale aproximadamente a un 0,4% del PBI, mientras que la inversión total en I+D suma un 0,6 % del PBI. De mantenerse esta relación en el tiempo, el proyecto del Senador Perotti apunta a alcanzar una inversión total en I+D de 4,5 % del PBI en 2030. Este es un valor comparable a la proyección para Israel. La figura 7 muestra gráficamente la propuesta de inversión en la función “ciencia y Técnica” según el proyecto de ley del Senador Perotti, y la proyección correspondiente para la inversión total en I+D. Un aumento de la inversión en I+D de estas características sin dudas impulsaría el cambio de paradigma científico-económico que Argentina necesita. Permitiría alcanzar y en algunos casos superar los niveles de inversión en I+D de los países desarrollados. Como antecedentes históricos, solo Israel ha aplicado tasas similares de incremento de la inversión en I+D.

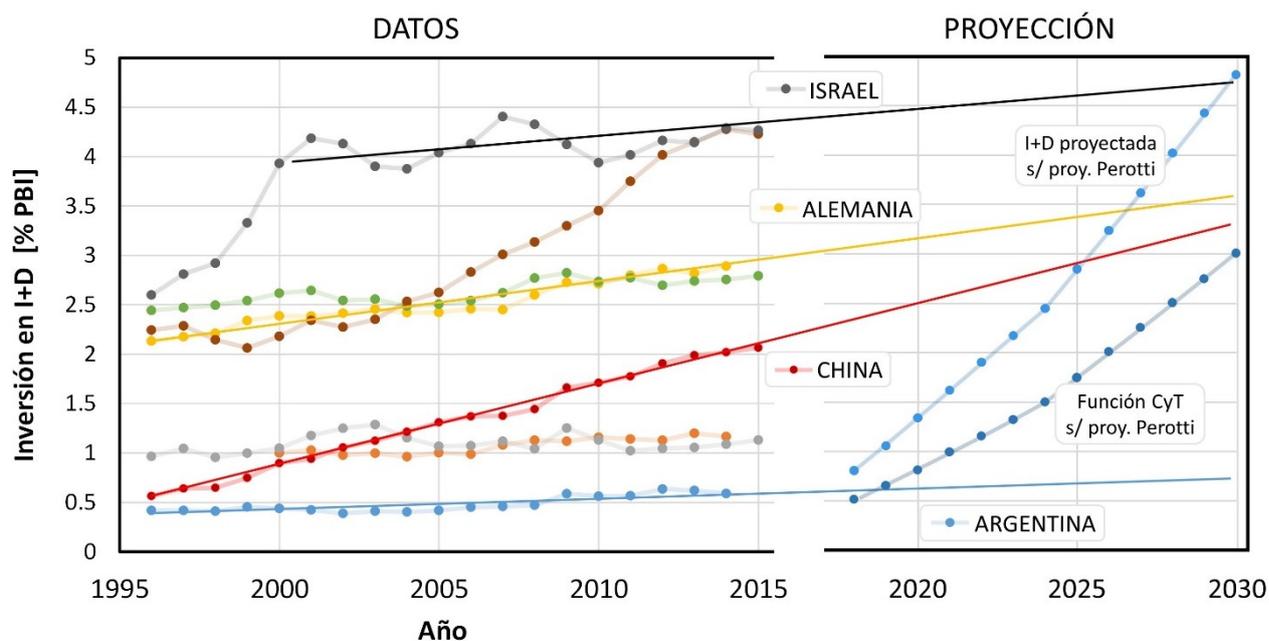


Figura 7. Proyección a 2030 de la inversión en I+D de Israel, Alemania, China y Argentina, en base a las tendencias registradas desde 1996. Los datos corresponden a UNESCO (Figura 3). Las proyecciones son lineales. Para Argentina se muestra además la propuesta de inversión en la función “ciencia y Técnica” según el proyecto de ley del Senador Perotti, y la proyección correspondiente de inversión total en I+D.

¿Es viable un aumento de estas magnitud en I+D? ¿Podría Argentina aumentar el gasto gubernamental en estos puntos del PBI?

Para responder esta pregunta es de nuevo relevante comparar el gasto gubernamental total de Argentina con otros países; estos datos se muestran en la figura 8. Como puede verse, existe cierta dispersión entre los valores asignados por cada país, demostrando distintas estrategias de inversión estatal. Lo más relevante para nuestro análisis es que no existe correlación entre el grado de desarrollo y el gasto gubernamental de los países. Esto queda evidenciado por ejemplo en los niveles de gasto gubernamental de Israel y Corea del Sur, los dos países que más se han desarrollado en el último medio siglo. Israel tiene un gasto público mucho mayor que Argentina, y lo viene reduciendo gradualmente. Corea del Sur en cambio, tiene un gasto público menor que Argentina, pero lo viene aumentando sistemáticamente.

Actualmente Argentina se encuentra dentro de los márgenes de dispersión observados tanto dentro del universo de países desarrollados como de rezagados. Aumentar el gasto entre 2 y 4 puntos del PBI para impulsar el desarrollo en base a investigación y desarrollo es una opción posible.

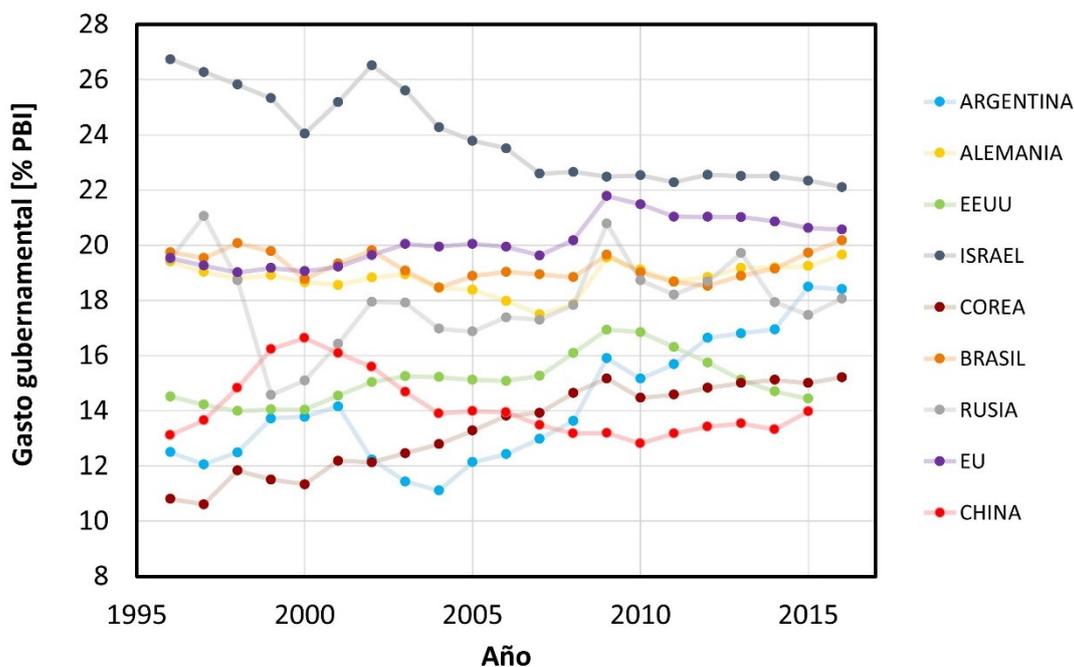


Figura 8. Gasto gubernamental total expresado como porcentaje del PBI los mismos países de referencia usados en las figuras 4-7. Fuente: Banco Mundial <http://data.worldbank.org/indicador/GB.XPD.RSDV.GD.ZS>

¿Cuánto dinero significa una inversión en CyT de estas características?

La inversión total para para 2018 según la propuesta del Senador Perotti, asumiendo un PBI constante y un USD a 18 AR\$, sería de 2.695 millones de USD o millones de 48.510 AR\$. El aumento planteado con respecto a lo invertido en 2017 sería de 15.492 millones de AR\$, u 860 millones de USD.

Argentina cuenta con estos recursos, y muchos más. Lo necesario es establecer la prioridad de un desarrollo en base a I+D y aplicar políticas que destinen los fondos necesarios. Abajo algunos ejemplos de donde pueden obtenerse lo recursos necesarios.

En 2016, el giro de divisas al extranjero ascendió a 11.966 millones de USD (fuente: Centro de Economía Política <http://centrocepa.com.ar/>), es decir 4 veces la inversión total planteada para CyT, o 12 veces el aumento planteado. La inversión en CyT genera divisas de modo directo exportando productos de mayor valor, y de modo indirecto sustituyendo importaciones.

El saldo de LEBACS a Agosto de 2017 supera el billón de AR\$, a una tasa de 26% anual (fuente: BCRA <http://www.bcra.gob.ar/Pdfs/PublicacionesEstadisticas/infomondiae.pdf>). Solo en intereses se deberán pagar 260.000 millones de AR\$ en un año. Esta actividad absolutamente improductiva para el país equivale a unos 14.000 millones de USD/año, prácticamente a 5 veces la inversión total anual en CyT planteada por el proyecto de Perotti, o 16 veces el aumento necesario para el próximo año.

La quita a las retenciones a las exportaciones de granos genera un costo fiscal aproximado entre 2000 y 3000 millones de USD por año (fuente: [fuente: Centro de Economía Política http://centrocepa.com.ar/](http://centrocepa.com.ar/)). En este momento se analiza una quita adicional de 5% a las retenciones a la exportación de soja, que tendría un costo fiscal adicional de aproximadamente 1000 millones. (fuente: <http://www.lanacion.com.ar/1933814-soja-calculan-en-16000-millones-el-costos-fiscal-de-bajar-otro-5-las-retenciones>).

En 2017 se recompuso a las distribuidoras eléctricas 19.000 millones de AR\$, por supuestas bajas ganancias en años anteriores. Este monto cubre en exceso el aumento necesario para CyT planteado por el proyecto del Senador Perotti (<http://www.ambito.com/862297-condonan-19000-m-a-electricas-aunque-las-tarifas-ya-subieron>)

Finalmente hay que destacar que este año se blanquearon más de 100.000 millones de USD. Este dinero corresponde a ganancias generadas en Argentina y que no han hecho ningún aporte fiscal. La evasión fiscal sigue siendo un gran problema en Argentina. Cualquier mejora en este sentido podría ser un aporte de magnitudes similares a la inversión en I+D necesaria.

Estos son solo algunos ejemplos, ilustrados en la figura 9, que demuestran que Argentina cuenta con los recursos necesarios. Mediante redireccionamientos parciales de su capacidad de recaudación Argentina podría impulsar una estrategia de desarrollo basada en I+D, con inversiones comparables con los de los países desarrollados.

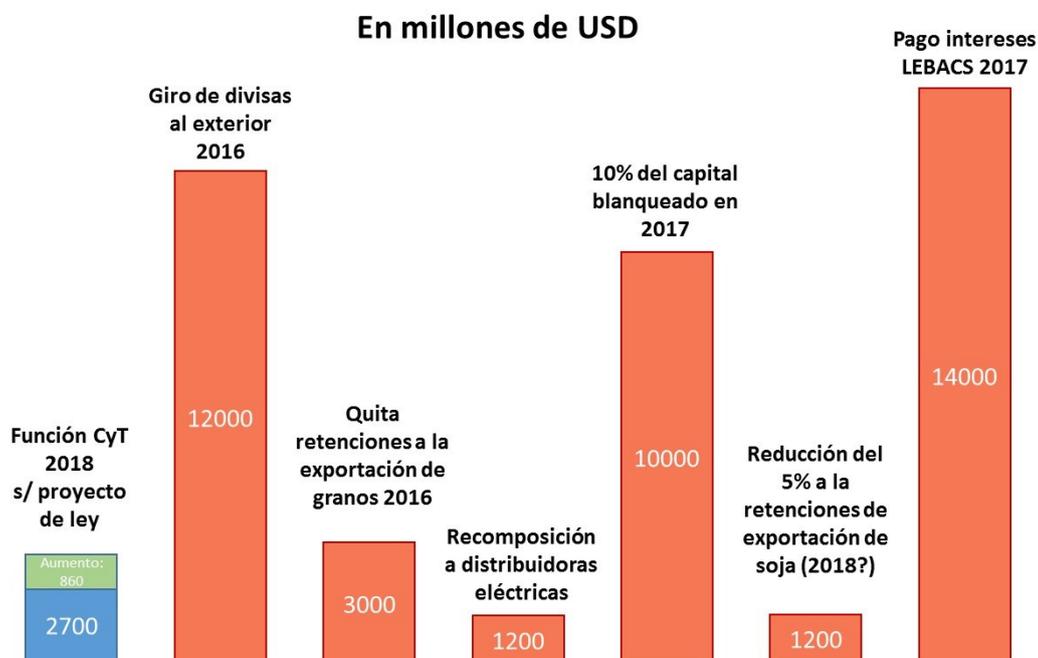


Figura 9. Comparación del monto destinado a la función ciencia y tecnología en 2018 según el proyecto de ley aprobado con media sanción en el Senado, con respecto a otros gastos del gobierno nacional.

¿Es necesario un aumento tan agresivo de la inversión?

Del análisis comparativo con otros países se desprende que para que una inversión en I+D tenga impacto en la economía debe cumplir dos condiciones básicas:

1) la inversión no debe interrumpirse en el tiempo

2) la inversión debe aumentarse a tasas mayores que las que aplican los países desarrollados para sostener su posición, esto implica tasas de aumento de la inversión entre 0,06 y 0,30 %PBI/año

Considerando estas condiciones, es posible plantear esquemas de inversión más moderados, pero que sigan cumpliendo la condición 2.

Igualmente importante es asegurar la continuidad más allá de 2030. Si se interrumpe un proceso de I+D no solo se pierden los posibles beneficios futuros, sino que se desperdicia la inversión realizada ya que I+D similar se terminará produciendo en otro lugar del planeta. No tiene sentido invertir de modo interrumpido.

Para revisar y ajustar periódicamente de la estrategia de inversión, es importante plantear períodos y objetivos de monitoreo compatibles con los plazos de la actividad científico-tecnológica.

¿Es necesario que la inversión sea pública? ¿Por qué no participa el sector privado?

Las inversiones privadas ocurren cuando las condiciones de retorno están garantizadas o los riesgos se minimizan. Las actividades productivas con alto contenido tecnológico requieren de inversiones importantes, sostenidas durante períodos de tiempo relativamente largos. Además, Argentina necesita intensificar, y en muchas áreas construir desde cero, una matriz industrial productiva con componentes de I+D competitivos a nivel regional y global. Por estos motivos, al inicio de una reconversión hacia una economía basada en el conocimiento y la tecnología, es clave el establecimiento de una política de Estado que garantice inversiones y gestión sostenidas en el tiempo. Subsecuentemente, las inversiones privadas van tomando parte en los mercados generados. Una vez más el ejemplo de Corea del Sur es muy ilustrativo. Como se muestra en la figura 10, al comienzo del proceso de desarrollo, la inversión coreana en I+D era mayoritariamente pública. Con el correr del tiempo la fracción de inversión privada fue aumentando hasta convertirse en mayoritaria.

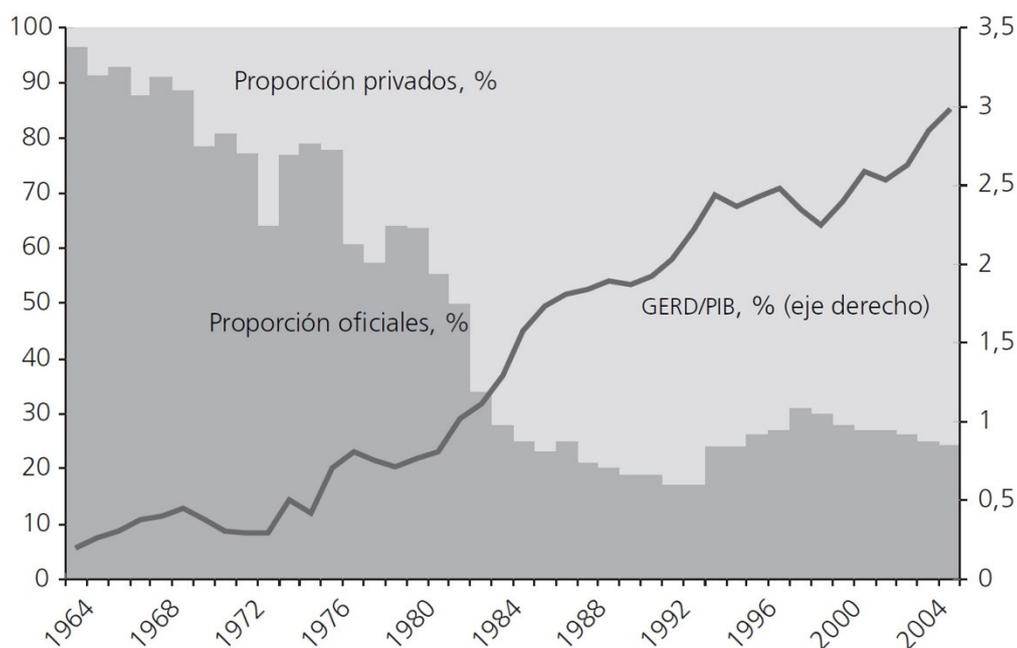


Figura 10. Inversión en I+D de Corea del Sur desde 1964 hasta 2004, desglosada entre la contribución pública y privada. Fuente: J. Suh & D. H. C. Chen, “Corea Como Una Economía Del Conocimiento. Proceso Evolutivo Y Enseñanzas”, Banco Mundial en coedición con Mayol Ediciones S.A., Washington, 2008.

Otro ejemplo es el Estado de San Pablo, Brasil. A partir de una ley que garantizó la inversión pública en I+D de manera sostenida en el tiempo, luego de décadas de aplicación, la economía de San Pablo es de las más estables y prósperas del país con cientos de empresas de base tecnológica.

Los países desarrollados, además de invertir adecuadamente en I+D, se caracterizan por utilizar parte de esa inversión en brindar un amplio espectro de herramientas para estimular la inversión privada en I+D, como beneficios fiscales para actividades de I+D o co-inversión en proyectos de I+D en consorcios público-privados.

La función “ciencia y Técnica” del presupuesto nacional se define, según el “Manual de Clasificaciones Presupuestarias para el Sector Público Nacional” del Ministerio de Hacienda, de la siguiente manera:

“Acciones inherentes a la obtención de nuevos conocimientos o a la investigación de sus aplicaciones. Incluye investigación y desarrollo, transferencia de tecnología, educación de postgrado para formación de investigadores y promoción de las actividades científicas y técnicas.” La definición parece suficientemente amplia como para incluir en esta categoría el fomento a la I+D privada mediante diversos mecanismos. Si fuera necesario, podría modificarse la definición e incluir el fomento de la inversión privada en I+D de modo explícito.

Conclusiones y reflexiones

- Los países desarrollados, con mayores PBI per cápita, son los que más invierten en I+D. Asimismo son los que aumentan en mayor magnitud sus PBI per cápita año tras año.
- Para que una inversión en I+D tenga impacto en la economía no debe interrumpirse en el tiempo. Los procesos científico-tecnológicos son de largo plazo, involucran el traspaso de conocimiento de generación en generación.
- Los países desarrollados no solo invierten más, sino que aumentan su inversión en I+D de manera sostenida, a una tasa promedio de 0,03 % PBI/año. Este ritmo de incremento anual de la inversión en I+D aparece como el necesario para sostener posiciones de privilegio en la economía global.
- Los pocos países que han establecido una política de Estado en ciencia y tecnología, asignando fondos adecuados y sosteniendo las inversiones durante décadas, han podido desarrollar su economía de manera sustentable. Para cambiar su estructura científico-productiva han aumentado sus inversiones en I+D a tasas entre 2 y 10 veces mayores a las que aplican los países desarrollados (ejemplos: Corea del Sur e Israel), es decir entre 0,06 y 0,30 %PBI/año.
- Argentina invierte actualmente 0,6 % de su PBI en I+D, es decir entre 5 y 7 veces menos que los países desarrollados.
- En términos absolutos, Argentina invierte per cápita entre 10 y 14 veces menos que los países desarrollados.
- Argentina viene aumentando su inversión en I+D a una tasa promedio de 0,01 %PBI/año, es decir a un ritmo 3 veces inferior al promedio de los países desarrollados. Esto debilita la posición argentina a nivel global, aumentando año tras año la brecha en el nivel de desarrollo y competitividad con los países desarrollados.
- “Argentina invirtió mucho dinero en ciencia y tecnología en los últimos años y no consiguió ningún impacto en la economía”. Los datos mostrados en este informe demuestran que ese tipo de afirmaciones son falsas. Durante los últimos años, Argentina ha revitalizado de manera muy significativa su sistema científico-tecnológico, que se encontraba en condiciones de extrema precariedad, pero no ha aumentado su inversión en I+D lo suficiente como para tener un impacto considerable en la economía. Incluso el aumento en su número de investigadores entre 2003 y 2015 fue a una tasa comparable, no superior, a la que aplican los países desarrollados.
- “El problema es que se investiga cualquier cosa. Hay que orientar la investigación hacia fines productivos, para que impacten en la economía”. Esto también es falso. Con los niveles de inversión actuales, ningún tipo de investigación tendrá impacto real en la economía. A lo máximo que puede aspirarse es a mantener el sistema científico-tecnológico en funcionamiento.

- Si bien no hay un consenso definitivo, está madurando en la sociedad y en la dirigencia política la importancia prioritaria que debe darse la inversión en I+D.
- Actualmente se están tratando varios proyectos de ley en el Congreso Nacional destinados a impulsar una inversión sostenida. Uno de los proyectos de ley ha conseguido media sanción del Senado. Se trata del proyecto del Senador Perotti, el cual plantea un incremento sostenido de la inversión en I+D hasta 2030, a una tasa aproximada de 0,30 % PBI/año. Esta tasa es de las más altas registradas en la historia, comparable a la aplicada por Israel en la década de 1990.
- Argentina debe aplicar tasas de incremento fuertes para participar del mercado global de I+D, ya que su PBI es considerablemente menor al de los países desarrollados.
- Una estrategia de inversión más moderada es posible también, y en mi opinión más adecuada. Pero debe ser sostenida en el tiempo y crecer una tasa igual o mayor 0,06 %PBI/año.
- Argentina debe encarar los tres mecanismos de impacto económico de la ciencia y la tecnología. Tiene toda la capacidad para hacerlo, con importantes ventajas comparativas con otros países del mundo y de la región:
 - Tiene los recursos económicos para invertir en I+D a los niveles necesarios
 - Posee con recursos naturales importantes, incluido el territorio apto para agricultura y ganadería
 - El sistema científico-tecnológico ha sido recientemente revitalizado y contiene referentes del más alto nivel internacional en casi todas las áreas.
- El esfuerzo debe enfocarse en áreas de ventaja competitiva regional e internacional y con potencial económico en las próximas décadas. Algunas de las más notables, pero no las únicas:
 - Desarrollo de la extracción e industria del Litio
 - Investigación y explotación del mar argentino (Proyecto Pampa Azul)
 - Biotecnología vegetal y animal
 - Agricultura de precisión
 - Petróleo y energías renovables
 - Nuevas bioeconomías (biocombustibles, biomateriales, biofármacos, etc.)
 - Tecnología nuclear
 - Industria satelital
 - Medicina personalizada
- Si no se encara un proceso de desarrollo local, el trabajo científico-tecnológico aporta al desarrollo extranjero.
- Lo mismo ocurre con el emprendedurismo, tan impulsado últimamente. Pequeños emprendimientos desarrollados en Argentina, si no se acoplan a tecnologías locales, terminan

contribuyendo como parte de tecnologías más abarcativas de otros países, que terminamos consumiendo en el futuro.

- El MINCYT ha trabajado con redes virtuales vinculando sectores científicos y productivos. Este enfoque ha sido muy adecuado en una primera etapa. Es de rápida implementación, no requiere prácticamente presupuesto y permite reconocer fortalezas e identificar debilidades. Pero hasta ahí llegan sus posibilidades, y son volátiles.
- En una siguiente etapa que apunte a instituir una política científico-tecnológica de Estado con estabilidad, previsibilidad e impacto económico, es necesario establecer centros con infraestructura acorde a los objetivos y capacidad de expansión, dedicados a la investigación básica y aplicada en cada una de las áreas estratégicas para el desarrollo. Estos deberán estar distribuidos por el territorio nacional, si es oportuno de acuerdo a ventajas locales en la temática, y contar con la capacidad de formar y atraer desde otras regiones a los RRHH necesarios. (experiencia de modelo exitoso CAB-Balseiro-INVAP)
- Cada centro deberá estar vinculado desde día cero con empresas locales, públicas o privadas, ya existentes o generadas.
- No hace falta un plan preciso de inversiones y gastos. Lo que se requiere es definir las áreas estratégicas, brindar de presupuestos estables, y comenzar a trabajar. Seguramente habrá fracasos parciales y cambios de rumbo parciales, pero en el largo plazo el desarrollo tendrá lugar. (Ej: autoabastecimiento energético-fusión nuclear-CAB-Balseiro-INVAP).
- Para poder participar futuros mercados, fruto de próximas revoluciones tecnológicas, es imprescindible mantener actividad científica de primer nivel internacional en un amplio espectro de disciplinas, que a su vez sirven de retroalimentación positiva a las actividades centrales de desarrollo tecnológico.
- Los ciclos de innovación tecnológica, así como los de las revoluciones tecnológicas se aceleran. Es esperable que si Argentina encara un proceso de desarrollo basado en I+D, pueda comenzar a participar de mercados de base tecnológica en un plazo de 10 a 20 años.