

Convertir ciencia en tecnología: el rol del Estado

*Eduardo N. Dvorkin**

Ciencia y Tecnología son dos disciplinas independientes. No es necesario para la Ciencia justificar los desarrollos sobre la base de potenciales aplicaciones tecnológicas y los desarrollos tecnológicos no requieren el prerrequisito de un desarrollo científico; sin embargo, cuando una sociedad logra incorporar a sus desarrollos tecnológicos conocimientos científicos está en condiciones de producir mayor valor agregado.

El gran tema es cómo se impulsa la cadena científico-tecnológica.

La Argentina es un país con un importante desarrollo científico de alta calidad; sin embargo, transformar el conocimiento científico en desarrollos tecnológicos, con el impacto que esto implica sobre la creación de puestos de trabajo de calidad y la generación de riqueza, es una urgente tarea pendiente.

El Estado argentino es el gran sujeto, el único, que podrá impulsar esta transformación.

* Ingeniero Electromecánico U.B.A.. Ph.D. in Mechanical Engineering M.I.T. Académico Titular – Academia Nacional de Ciencias Exactas, Físicas y Naturales. Profesor Titular, Facultad de Ingeniería – U.B.A.

1. Ciencia, Tecnología e Innovación

El objetivo de la *Ciencia* es entender la naturaleza para poder establecer leyes que permitan predecir sus fenómenos. Este objetivo no necesita justificarse con consideraciones económicas o sociales y vale por sí mismo.

El objetivo de la *Tecnología* es modificar la naturaleza para satisfacer las necesidades de los hombres. Esta modificación de la naturaleza puede basarse sobre conocimientos científicos o en el puro empirismo y obtenidos los resultados esperados no resulta importante justificar las metodologías de obtención de los conocimientos utilizados, salvo violaciones a las leyes que protegen la propiedad intelectual.

Los filósofos griegos, a los que les resultaba inaceptable la justificación de su trabajo sobre la base de necesidades prácticas (*salvo a los médicos*) constituyen el hito histórico que marca el nacimiento de la Ciencia y los romanos que construían acueductos, viaductos y grandes estructuras sin disponer del conocimiento previo de los fundamentos científicos de sus diseños son el hito histórico que marca el comienzo del desarrollo de la Ingeniería.

Dos importantes novedades del

siglo XX fueron:

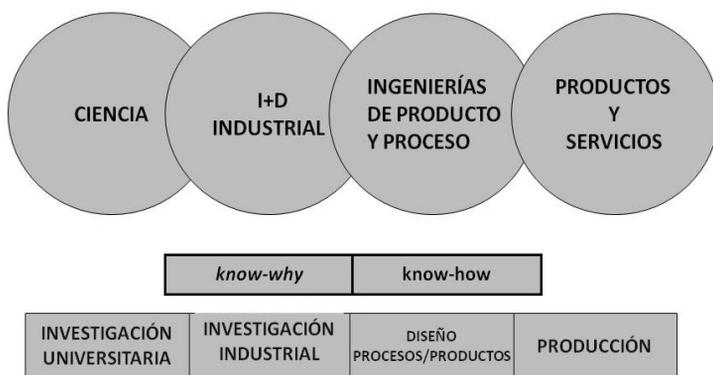
- La "*Ingeniería Científica*" que incrementa fuertemente las posibilidades de desarrollo de tecnologías mediante la aplicación de conocimientos y metodologías científicas.
- La "*Ciencia Aplicada*" que, poniendo el foco en el impacto tecnológico del trabajo científico, incrementa su valor social y consecuentemente los fondos que la sociedad está dispuesta a invertir en el desarrollo científico general.

En *Science the endless frontier*¹ (Vannevar Bush – 1945) se sientan las bases de la moderna integración entre la Ciencia y la Tecnología. Esquemáticamente hemos representado esta integración en el **gráfico N° 1**. Es importante destacar que no todo desarrollo tecnológico se basa sobre un conocimiento científico previo; como señala John Bernal², los fenicios usaban los remos y las balanzas antes de que los griegos hubiesen demostrado formalmente las leyes de la palanca. Sin embargo, la formalización matemática del concepto de "palanca" abrió el camino a desarrollos tecnológicos de mayor complejidad.

En una sociedad determinada, la posibilidad de generar aportes científicos al desarrollo tecnológico implica el prerrequisito de

¹ <http://www.nsf.gov/od/lpa/nsf50/vbush1945.htm>

² Bernal J.D., *Historia Social de la Ciencia*, Editorial de Ciencias Sociales, La Habana, 1986.

Gráfico N° 1. La cadena científico-tecnológica

haber establecido en dicha sociedad la *cadena científico - tecnológico* que hemos esquematizado en el **gráfico N° 1**.

Para clarificar más los conceptos de Ciencia y Tecnología en la **tabla N° 1** aportamos algunas consideraciones sobre sus similitudes y diferencias.

Un tema relacionado con los desarrollos tecnológicos y que constituye una preocupación permanente por sus implicancias para el progreso económico y el bienestar de la sociedad es el tema de la *innovación*.

Sin embargo, deberemos precisar con certeza el concepto de innovación que varía de acuerdo con el contexto en el que es empleado:

- En Ciencia el concepto es el de *innovación absoluta*: es hacer lo que nadie hizo antes, algo diferente y obviamente válido. Si se

intenta publicar en un *journal* científico de prestigio algo que alguien ya hizo antes se recibirá un rechazo por parte de los *referees*.

- Hay tecnologías que tienen el mismo criterio sobre la innovación que la Ciencia, son las que llamamos "*tecnologías de punta*". La industria de la computación y la biotecnología constituyen ejemplos típicos. En la época en la que Estados Unidos y la Unión Soviética volcaron sus esfuerzos nacionales en la competencia por poner el primer hombre en la Luna, ambos países intentaban hacer algo que el otro no hubiese hecho antes, cada paso adelante en esa competencia constituía una innovación en sentido absoluto, en el sentido de la innovación científica. La industria armamentista durante la guerra fría fue un ejemplo similar y hoy las

Tabla N° 1. Ciencia y Tecnología: Similitudes y Diferencias

	CIENCIA	TECNOLOGÍA
PROPIEDAD	Social	Particular (ya sea de un país o conjunto de países, de una cooperativa o de una empresa privada o estatal)
FIN ULTIMO	Independiente	Dependiente
DIFUSIÓN	Irrestringida	Restringida
DESARROLLO	Acumulativo "Yo vi más lejos porque estaba parado sobre los hombros de gigantes" Isaac Newton	Desigual
METODOLOGÍA	Estricta (En el caso de las ciencias naturales es el denominado "Método Científico": observación + formulación de una teoría + validación experimental)	Indiferente
REPERCUSIÓN EN EL TIEMPO	Inmediata o diferida	Inmediata
REPERCUSIÓN LATERAL	Mucha	Mucha

empresas líderes de producción de computadoras y teléfonos celulares compiten entre sí lanzando al mercado productos que constituyen innovaciones absolutas.

- En las tecnologías menos dinámicas (ej. siderurgia, maquinarias de construcción, etc.) el concepto de innovación es distinto. Existe un proceso de *innovación local*, mediante el cual

una empresa que no fabricaba un determinado producto o no prestaba un determinado servicio empieza a hacerlo; lo que constituye una innovación en el medio productivo de referencia independientemente de que en el mundo o en el mismo país hubiese otras empresas que ya produjesen el producto o prestaran el servicio en cuestión.

Branscomb³ define: "*innovación*

³ Branscomb L.M., *Empowering Technology - Implementing a U.S. Strategy*, The MIT Press, Cambridge, MA, 1993.

es el proceso que lleva a la creación e introducción en el mercado de un producto nuevo o de un servicio nuevo para la empresa”.

Norbert Wiener (1894 – 1964), un matemático del MIT muy involucrado en el desarrollo de innovaciones tecnológicas, definió en los años 50 las cuatro condiciones necesarias para la innovación⁴:

1. **Generación de un concepto nuevo:** es una tarea individual que está condicionada por el clima intelectual de la época. Este primer paso es independiente de la futura aplicación tecnológica de dicha novedad.
2. **Grado de desarrollo tecnológico de la época que haga factible el desarrollo del nuevo concepto:** (a) Leonardo tenía que materializar sus desarrollos tecnológicos usando madera o cuero, los materiales que la tecnología de la época ponía a su disposición; la baja dureza y la baja resistencia al desgaste de estos materiales hizo que muchos de los desarrollos de Leonardo fracasaran en su implementación concreta. (b) Watt, que ingenierizó en el siglo XVIII la primera máquina a vapor, era no casualmente relojero y fabricante de instrumentos científicos; dado que en esa época los últimos adelantos tecnológicos en mecánica de precisión estaban en

dominio de los relojeros.

3. **Integración social de científicos y productores:** Wiener propone el ejemplo de Edison que además de sus aportes específicos a la innovación tecnológica fundó el primer centro de investigación industrial de la historia. Los laboratorios de Edison fueron el primer grupo de científicos y tecnólogos reunidos específicamente para cumplir un fin de interés productivo y de esa forma dieron origen al complejo científico - tecnológico de EUA, que ha revolucionado la visión histórica de C&T.
4. **Estímulo a la innovación:** es fundamental que una sociedad que quiere gozar los frutos de la innovación tecnológica disponga estímulos, económicos y no económicos, a aquellos que estén dispuestos a asumir el riesgoso camino de la innovación.

2. Desarrollo tecnológico y políticas redistributivas

2.1. La importancia social del desarrollo tecnológico

El desarrollo tecnológico de un país no se limita a un aumento de su PIB sino a un aumento ligado con el crecimiento de la complejidad de su sistema productivo y con el aumento del nivel de bienestar de sus habitantes.

⁴ Wiener N., *Invention - The care and feeding of ideas*, The MIT Press, Cambridge, MA, 1994.

La Agencia de Desarrollo Industrial de las Naciones Unidas (UNIDO⁵) define, para cuantificar el concepto de desarrollo tecnológico, un índice por país denominado *CIP (Competitive Industrial Performance)*. Este índice, definido para la economía de cada país incorpora los siguientes ingredientes:

1. Valor agregado de la manufactura per cápita (*MVApc*).
2. Exportación de manufacturas per cápita (*MXpc*).
3. Intensidad de industrialización (*IInt*),

$$\prod nt = \frac{1}{2}(MVAsh + MHVsh)$$

donde,

MVAsh: participación de la producción manufacturera en el PIB;

MHVsh: participación de productos de tecnologías medias y altas en el *MVAsh*.

4. Calidad de las exportaciones manufacturadas (*MXq*)

$$MXq = \frac{1}{2}(MXsh + MHXsh)$$

donde,

MXsh: participación de productos manufacturados en el total de las exportaciones del país;

MHXsh: participación de productos de media y alta tecnología en las manufacturas exportadas.

Los cuatro indicadores arriba definidos son normalizados teniendo en cuenta el conjunto de países analizados en un mismo período.

Finalmente el *CIP* es el promedio de los 4 indicadores normalizados.

Dado que el último valor de *CIP* publicado por UNIDO corresponde al año 2003, utilizando las estadísticas del Banco Mundial⁷ para el año 2009 hemos recalculado su valor considerando un conjunto de países que hemos tomado arbitrariamente como referencia (salvo para el índice *MHXsh* para el que hemos debido adoptar el valor del año 2003 publicado por UNIDO)

Usualmente se asigna al desarrollo tecnológico las virtudes de crear empleo de mayor calidad, traccionar el desarrollo de la educación y, por lo tanto, ser un factor que incrementa el nivel de bienestar de la población. En la **tabla N° 2** tratamos de cuantificar el anterior razonamiento cualitativo utilizando como medida cuantitativa de la política distributiva de recursos de un país el número $(100 - \%GINI)^{7,8}$.

⁵ <http://www.unido.org/>

⁶ <http://data.worldbank.org/>

⁷ Cuando $(100 - \%GINI) = 100$ se tiene la perfecta igualdad y la total desigualdad cuando $(100 - \%GINI) = 0$

⁸ <http://hdrstats.undp.org/en/indicators/161.html>

Tabla N° 2. Cuantificación del Desarrollo Tecnológico

País	CIP
Argentina	1.81
Australia	3.12
Brasil	1.89
Canadá	5.20
Chile	1.77
Corea	8.52
Costa Rica	2.84
España	4.15
Italia	4.58
Japón	5.97
México	3.55
USA	4.60

Del **gráfico N° 2** surge que *generalmente* hay una importante correlación entre mayores niveles de desarrollo tecnológico y mejores niveles de distribución del ingreso.

Algunas conclusiones:

- salvo casos excepcionales como Australia, un mayor nivel de bienestar tiene como prerrequisito un mayor nivel de *CIP*.
- Claramente no basta que los países aumenten su *CIP* para mejorar su estado de bienestar: la distribución equitativa del ingreso es una política de estado deliberada y no un resultado necesario del crecimiento de la complejidad productiva de un país.

Para medir el índice de bienestar

de un país también podemos usar el Índice de Desarrollo Humano (*IDH*) definido por el Programa de las Naciones Unidas para el Desarrollo (PNUD)⁹ que combina indicadores de salud, educación y estándar de vida. En el **gráfico N° 3** graficamos el *IDH* en función del *CIP*.

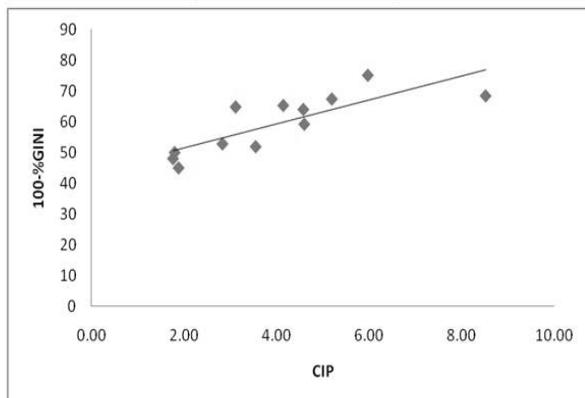
Nuevamente y no en forma estricta, se verifica que mayores niveles de desarrollo tecnológico correlacionan con mejores condiciones de vida.

Países como México, que basa su desarrollo industrial sobre la maquila, el Brasil y Costa Rica tienen niveles de *IDH* inferiores al que les correspondería según su desarrollo industrial, en tanto que Australia tiene un valor de *IDH* mayor al que le correspondería

⁹ <http://hdr.undp.org/es/estadisticas/idh/>

Gráfico N° 2. El desarrollo tecnológico vs. política distributiva del país

País	CIP	100-GINI
Chile	1.77	48
Argentina	1.81	50
Brasil	1.89	45
Costa Rica	2.84	52.8
Australia	3.12	64.8
México	3.55	51.9
España	4.15	65.3
Italia	4.58	64
USA	4.60	59.2
Canadá	5.20	67.4
Japón	5.97	75.1
Corea	8.52	68.4



según su desarrollo industrial.

Para reforzar la visualización del desarrollo tecnológico como facilitador del desarrollo social en el **gráfico N° 4** graficamos el *número de graduados universitarios / PEA* para el año 2008 en función del valor de *CIP*.

2.2. El problema de una economía con fuerte sustento sobre el uso de recursos naturales

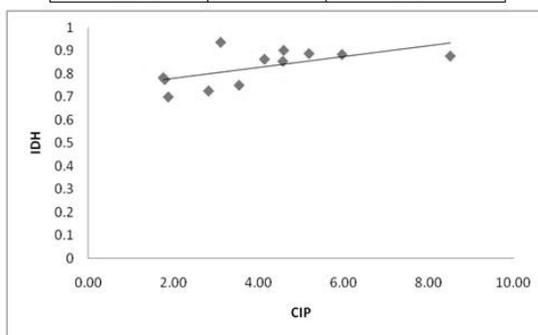
En el **gráfico N° 5**, presentamos un gráfico producido por la CE-

PAL, en el que vemos el peso de los distintos sectores que integran el valor agregado industrial.

En el eje vertical del **gráfico N° 5** se cuantifica el peso relativo de los sectores de trabajo intensivo, sectores de tecnología intensiva y de recursos naturales intensivos. El porcentaje de cada sector es el que va entre el símbolo del sector y el que se encuentra inmediatamente por debajo. En el eje horizontal se cuantifica productividad del sector en dólares y precios constantes de 1985.

Gráfico N° 3. El desarrollo tecnológico vs. bienestar de la población

País	CIP	IDH
Chile	1.77	0.783
Argentina	1.81	0.775
Brasil	1.89	0.699
Costa Rica	2.84	0.725
Australia	3.12	0.937
México	3.55	0.75
España	4.15	0.863
Italia	4.58	0.854
USA	4.60	0.902
Canadá	5.20	0.888
Japón	5.97	0.884
Corea	8.52	0.877



Vemos que entre 1990 y 2007 en América latina crecieron poco las productividades de los sectores y no se alteró su peso relativo, mientras que en EUA las productividades crecieron significativamente, sobre todo la productividad del sector de tecnología intensiva que asimismo incrementó muy fuertemente su peso relativo.

Las industrias de tecnología intensiva traccionan de la educación, la investigación y el desarrollo como así también del nivel tecnológico de sus proveedores, en general pymes.

3. Transformar Ciencia en Tecnología

Ciencia y Tecnología son dos disciplinas independientes. No es necesario para la Ciencia justificar los desarrollos sobre la base de potenciales aplicaciones tecnológicas y los desarrollos tecnológicos no requieren el prerrequisito de un desarrollo científico; sin embargo, cuando una sociedad logra incorporar a sus desarrollos tecnológicos conocimientos científicos está en condiciones de producir mayor valor agregado.

Gráfico N° 4. Educación superior vs CIP para el año 2008 (elaborada en base a datos de RICYT)

País	CIP	% Graduados/PEA
Chile	1.77	0.80
Argentina	1.81	0.59
Brasil	1.89	0.78
Costa Rica	2.84	1.66
México	3.55	0.80
USA	4.60	0.99

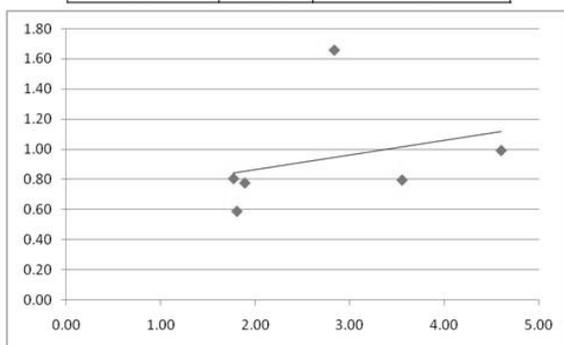
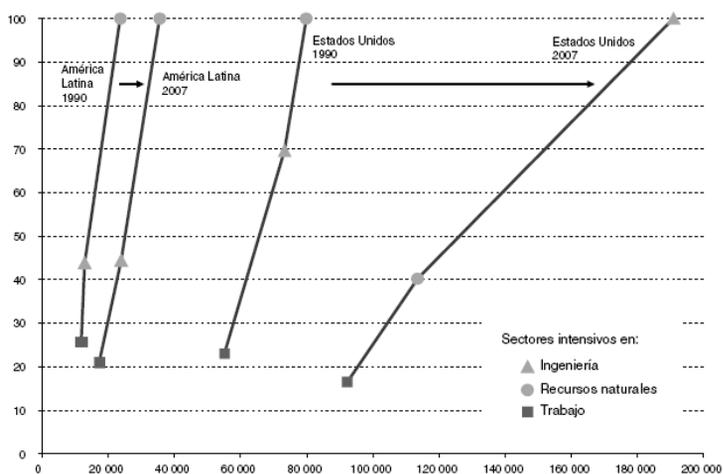
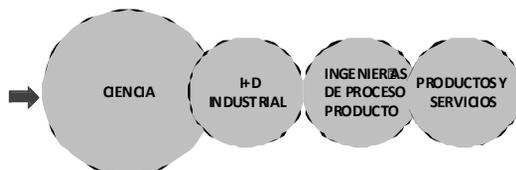


Gráfico N° 5. Productividad y estructura del valor agregado industrial¹⁰



¹⁰ “La hora de la igualdad. Brechas por cerrar, caminos por abrir”, (coordinadora Alicia Bárcena), CEPAL, 2010.

Gráfico N° 6. Empujando desde el lado de la oferta científica**Gráfico N° 7.** Tractionando desde el lado de la demanda tecnológica

El gran tema es cómo se impulsa la cadena científico-tecnológica:

¿Empujando desde la oferta científica (**gráfico N° 6**) o aumentando la demanda del sector productivo (**gráfico N° 7**)?¹¹

El aumento de la oferta científica con la esperanza de “permear” hacia las aplicaciones tecnológicas ha sido normalmente la política aplicada en nuestro país desde la recuperación de la democracia hasta el año 2003, porque es sencilla de aplicar y porque es la única que puede aplicarse cuando el área gubernamental de Ciencia está disociada de las áreas que manejan la economía del país. Obviamente esta disociación es el resultado de la carencia de un Proyecto Nacional. Como hemos indicado casi en forma de carica-

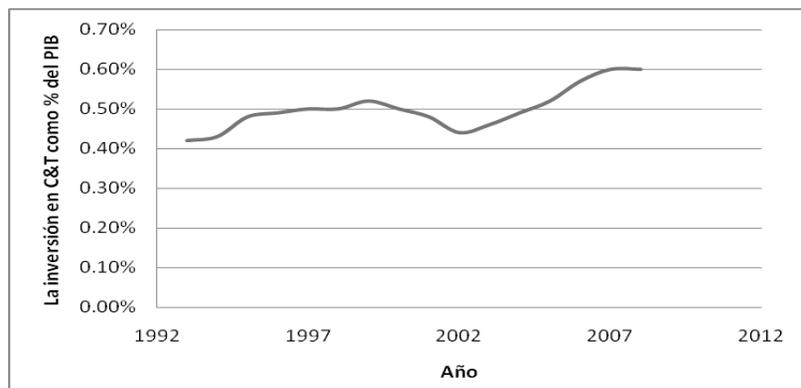
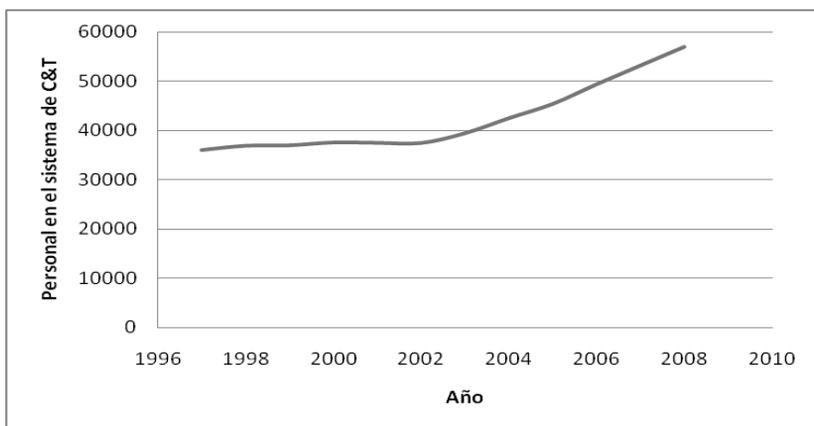
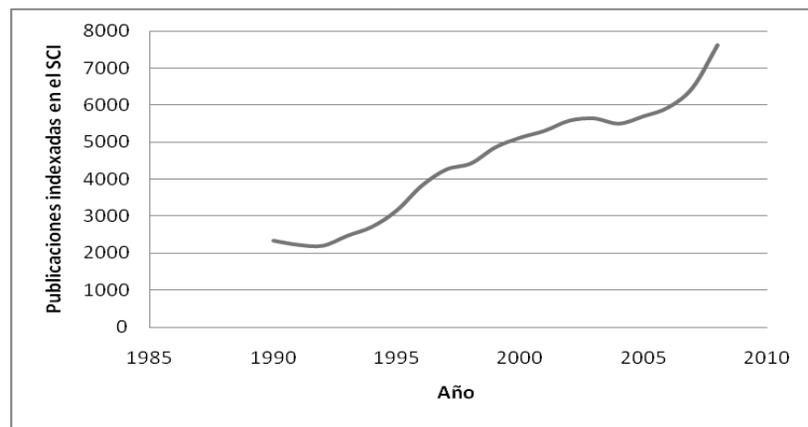
tura en el **gráfico N° 6** el resultado es, en el mejor de los casos, el crecimiento de la producción científica lo que es muy bueno pero no satisface el objetivo de agregar valor a la producción argentina.

El motivo es que el esquema de el **gráfico N° 6** (“*tenemos una solución, busquemos un problema al que aplicar esta solución*”) no interpela necesariamente temas que tengan impacto en el sector productivo y por lo tanto las posibilidades de “permeación” son bajas.

El traccionar desde el lado de la demanda tecnológica, **gráfico N° 7**, claramente garantiza la concreción de la cadena científico-tecnológica.

No está de más volver a enfatizar que siendo la Ciencia un objetivo en si misma, independiente-

¹¹ Marta López Gil y Liliana Delgado, *La Tecnociencia y Nuestro Tiempo*, Biblos, 1996.

Gráfico N° 8. El crecimiento de la inversión en C&T**Gráfico N° 9.** El crecimiento del sistema de C&T**Gráfico N° 10.** El crecimiento de la producción científica

mente de su posibilidad de aplicaciones tecnológicas, no todo desarrollo científico debe visualizarse como formando parte de esta cadena. El sistema científico forma parte de la cadena científico-tecnológica pero no necesariamente cada grupo de investigación.

El tema fundamental, sobre el que volveremos en la sección 5, es quién es el sujeto de esta tracción de la tecnología sobre la investigación científica.

4. La situación actual argentina

4.1. El crecimiento del sector de Ciencia y Técnica

La Argentina, como mostramos en los **gráficos N° 8 a N° 10** está aumentando aceleradamente su

inversión en Ciencia, que sin llegar a ser óptima, presenta una importante derivada positiva. Este aumento de la inversión tiene su correlato en un aumento de la población involucrada en el desarrollo del sector de C&T y en un aumento de la producción científica.

Si bien estamos transitando un camino de crecimiento científico, como lo prueban también los más de 800 científicos argentinos repatriados desde 2003, como vemos en el **gráfico N° 11**, aún el tamaño de nuestra economía requiere seguir aumentando el porcentaje del PIB adjudicado a C&T.

Problemas a ser encarados:

- La inversión en C&T es fundamentalmente inversión del sector estatal.

Gráfico N° 11. Comparaciones internacionales

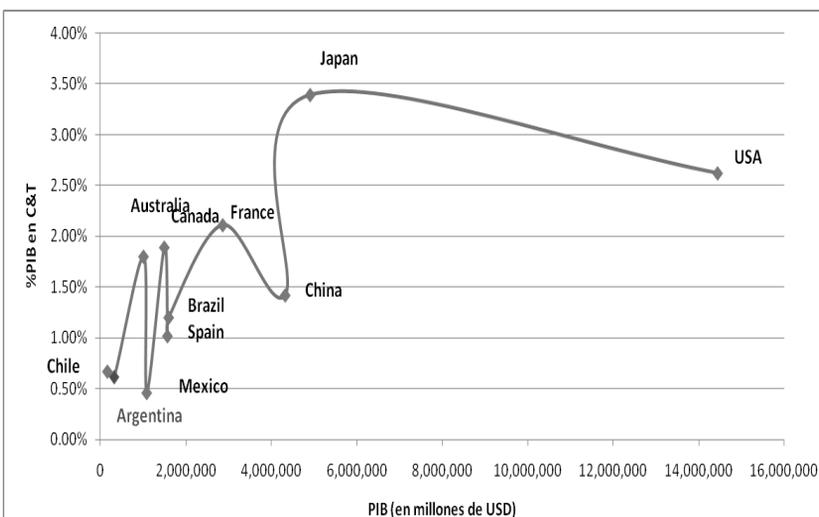


Tabla Nº 3. Casos exitosos de interacción Ciencia - Tecnología

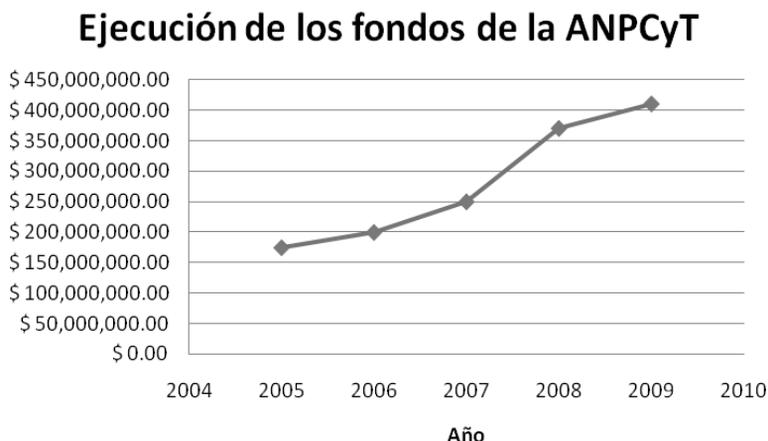
Empresa	Propiedad	Campos de trabajo
INVAP S.E.	Empresa estatal	Empresa de tecnología: Instalaciones nucleares, satélites, radares, equipos industriales, equipos médicos
CONAE / VENG S.A.	Empresa estatal	Satélites y vehículos de lanzamiento de satélites
IMPESA	Empresa privada	Turbinas hidráulicas y generadores eólicos
INTA - Bioceres	Cooperación Público - Privada	Especies transgénicas
INTA y varios constructores nacionales de maquinaria agrícola	Cooperación Público - Privada	Agricultura de precisión
INTI	Empresa estatal	Desarrollo de quesos con propiedades específicas; desarrollo de pinturas bactericidas; etc.
CONICET - SANCOR	Cooperación Público - Privada	Desarrollo de leche con propiedades específicas
BIOSIDUS	Empresa privada	Desarrollo de proteínas humanas en organismos desarrollados mediante ingeniería genética
Laboratorios Beta-IBYME-CONICET	Cooperación Público - Privada	Desarrollo de insulina humana recombinante
UBA-CONICET-INTA-BIOSIDUS	Cooperación Público - Privada	Clonado de vacas para la producción d medicamentos

- A partir del período de privatización de empresas públicas, el sector productivo es fundamentalmente privado, por lo tanto aún no está resuelta la constitución de la cadena científico-tecnológica.

4.2. La relación Ciencia y Tecnología hoy en la Argentina

En la **tabla Nº 3** intentamos presentar algunos de los casos exitosos de relación entre Ciencia y Tecnología que hoy existen en el país.

La Agencia Nacional de Promoción Científica y Tecnológica (ANPCyT) que tiene como misión

Gráfico N° 12. Crecimiento de la actividad de la ANPCyT

apoyar la innovación tecnológica en las pymes, ha tenido un fuerte crecimiento de su presupuesto, como surge del **gráfico N° 12**.

Si bien el **gráfico N° 12** muestra un fuerte crecimiento de los fondos destinados a apoyar la innovación en las empresas pymes, debemos poner los números en perspectiva: el presupuesto de la ANPCyT en el año 2009 fue de 0.03% del PIB de ese año.

5. El rol del Estado

Hemos concluido en la sección 3 que son las demandas tecnológicas las que deben traccionar la formación de la cadena científico – tecnológica (**gráfico N° 1**).

¿Pero quién es el sujeto tractor?

Este sujeto tractor debe poder alinear fuertes demandas productivas de un amplio conjunto de

sectores y encarar procesos de alto costo, alto riesgo y largo plazo como son los procesos de desarrollo tecnológico.

Internacionalmente el principal sujeto de la transformación tecnológica es el estado (**tabla N° 4**)

5.1. Los mecanismos existentes

1. El Estado apoya el desarrollo tecnológico a través de 5 mecanismos fundamentales:
2. El uso del poder de compra.
3. El establecimiento de consorcios público-privadas para el logro de objetivos específicos.
4. La estandarización.
5. La I+D en universidades estatales y laboratorios nacionales.
6. Los subsidios directos a la I+D tecnológica.

Tabla Nº 4. Ejemplos de tractores tecnológicos

País o región	Impulsores del sector C&T
Estados Unidos	DOE, DOD, NIH, etc.
Unión Europea	Programas Europeos
Japón	MITI
Brasil	Petrobras, Embraer, etc.

5.1.1. Poder de compra del estado

En los países altamente industrializados, mucho del alto aporte privado a la inversión en C&T se da en relación con contratos de desarrollo en los que el cliente es el estado nacional o, como en el caso europeo, los Estados nacionales y la UE.

El Estado promueve la investigación y el desarrollo privados comprando productos aún no-existentes, especificando sus características funcionales y encomendando a empresas privadas la I+D necesaria, el diseño de los nuevos productos, el desarrollo de prototipos industriales y finalmente la construcción de los nuevos productos. De esta manera las empresas privadas pueden aminsonar los riesgos de un desarrollo innovativo ya que se aseguran un primer comprador¹².

El uso intensivo del poder de compra del estado en la Argentina es muy importante actualmente ya

que en nuestro país existen muy pocas empresas estatales que puedan traccionar el desarrollo tecnológico autónomo.

El uso del poder de compra del Estado para impulsar la innovación no debe confundirse con el viejo “*compre argentino*” ya que debería involucrar:

- Integración de compra nacional de ingeniería y fabricación de componentes que permita establecer cadenas de pymes proveedoras.
- Exigencia de reinversión en equipos y en I+D local a las empresas que resulten proveedoras de innovaciones impulsadas por el estado.

Un caso especial de poder de compra del estado es el que se plantea en los gastos de defensa: siendo el desarrollo industrial del país parte del concepto de “*defensa nacional*” y siendo que la posibilidad de desabastecimiento de material en caso de conflicto ar-

¹² Aschhoff B. and Sofka W., “Innovation on demand. Can public procurement drive market success of innovations?”, Discussion Paper 08-052, ZEW, 2008.

mado es inaceptable (ej. lo sucedido durante la Guerra de Malvinas) el direccionamiento del gasto de defensa hacia empresas nacionales parece ser imperativo.

5.1.2 Consorcios público-privados para el logro de objetivos específicos

Para el desarrollo de proyectos específicos que se juzguen importantes por su necesidad social o por su potencial para incrementar el valor agregado de la producción argentina es muy útil establecer consorcios público-privados que tengan como duración original la duración del proyecto fundante y que eventualmente pueden continuar en el tiempo si resultan útiles para las empresas e instituciones gubernamentales participantes (ej. FonArSec en ANPCyT <http://www.agencia.gov.ar/spip.php?article995>)

5.1.3. Estandarización

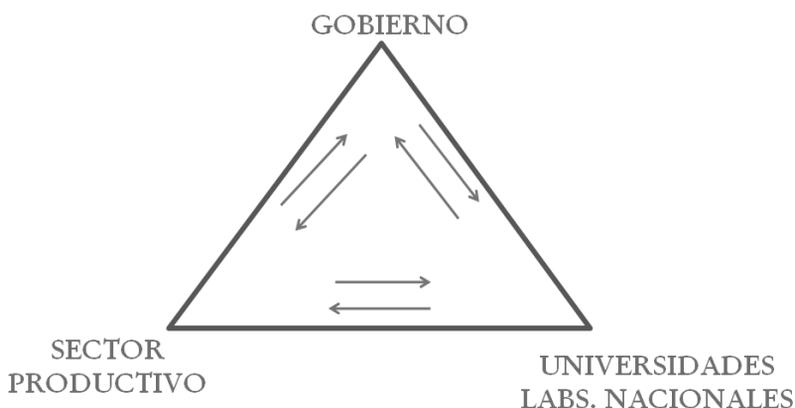
A la vez que protege a la población contra el uso de productos peligrosos, de baja calidad ó dañinos para el medio ambiente puede ser utilizada como un generador de innovaciones y una barrera para-arancelaria.

5.1.4. I+D en universidades estatales y laboratorios nacionales

La participación de la academia (universidades nacionales y laboratorios nacionales) también es imprescindible para encarar el proceso de desarrollo tecnológico. Jorge Sábato identificó los actores y sus interrelaciones como se esquematiza en el **gráfico N° 13**.

Los ámbitos típicos para desarrollar investigación científica son las instituciones sin fines de lucro: universidades, algunos laboratorios nacionales y fundaciones.

Gráfico N° 13. El triángulo de Sábato



Los ámbitos de desarrollo tecnológico son las empresas (privadas, cooperativas o estatales) del sector productivo o de servicios.

La investigación científica aplicada puede ser compartida por ambos tipos de instituciones.

Es fundamental comprender que un desarrollo tecnológico puede involucrar un desarrollo científico (ciencia aplicada) pero lo excede. El tecnólogo no solo debe desarrollar un producto ó proceso en abstracto sino que debe ocuparse de una diversidad de temas conexos. Por ejemplo,

- Durante el desarrollo de un nuevo proceso o la optimización de un proceso existente: de la posibilidad de suministro de materia prima adecuada, de la posibilidad de obtener un adecuado suministro de energía, de identificar la maquinaria adecuada al proceso, de identificar los instrumentos de medición adecuados, de estudiar la estabilidad del proceso frente a cambios aleatorios de las variables de control, etc.
- Durante el desarrollo de un nuevo producto: de la posibilidad de su fabricación utilizando la maquinaria disponible, de desarrollar controles de calidad sobre la materia prima a ser utilizada, de establecer límites de tolerancia que no desvirtúen las propiedades del nuevo producto ni encarezcan innecesariamente su producción, de analizar la estabilidad de las propiedades

del producto en una fabricación seriada, etc.

Resulta evidente que el desarrollo tecnológico, con la definición que del mismo hemos venido utilizando, no puede desarrollarse en el ámbito universitario.

Sin embargo es posible, y de hecho es normal en el mundo, que empresas productivas o de servicios financien en las universidades ciertos desarrollos científicos en los que están interesados para sus desarrollos tecnológicos: ciencia aplicada desarrollada por encargo de estas empresas.

5.1.5. Subsidios directos a la I+D tecnológica

Es el sistema que actualmente se está implementando desde la ANPCyT cuyos subsidios se dirigen a apoyar financieramente a las pymes innovadoras: créditos blandos y aportes no retornables.

Es nuestra visión, el apoyo financiero es insuficiente si el estado no utiliza su poder de compra para crear un mercado protegido para las pymes innovadoras.

5.2. El mercado no puede ser el tractor de la cadena científico – tecnológica

Las empresas privadas innovadoras son, en la visualización de Sábato, parte del sistema de ciencia-tecnología; pero estas empresas no pueden cumplir el rol de tractoras del sistema, porque la ganancia monetaria es la que

necesariamente rige su lógica y no el cumplimiento de objetivos estratégicos; por lo tanto:

- Sus inversiones deben revertir en ganancias en plazos relativamente cortos (un año y aún un semestre son normalmente considerados plazos razonables para revertir inversiones en ganancias).
- La toma de riesgos está severamente acotada.
- Según los precios de mercado y las oportunidades existentes, las empresas pueden decidir, si no hay restricciones impuestas por el estado, lógicas contradictorias con un desarrollo tecnológico autónomo. Por lo tanto, la suma de las acciones de las empresas individuales, movidas por sus propias lógicas, no necesariamente es compatible con el progreso tecnológico de la sociedad.

6. La formación de tecnólogos

Un aspecto que debe contemplar un plan realista de desarrollo tecnológico autónomo es el de la formación de tecnólogos. Hoy, en un proceso de reindustrialización fuerte pero que involucra un bajo nivel de desarrollo autónomo, ya la escasez de ingenieros es un tema crítico, y lo será en mayor medida frente a requerimientos

crecientes que plantee un desarrollo centrado sobre nuestros propios recursos.

Científicos y tecnólogos

La cadena lineal [*ciencia – ciencia aplicada – tecnología*] planteada por Vannevar Bush no nos alcanza para explicar y entender las múltiples relaciones actuales entre la Ciencia y la Tecnología.

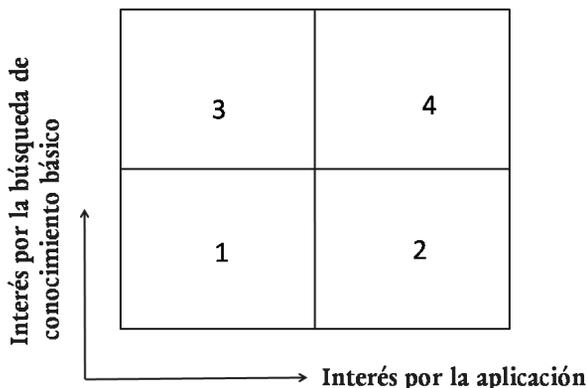
Más recientemente Donald E. Stokes¹⁴ propuso el esquema que presentamos en el **gráfico N° 14** para representar los motores de las diferentes actividades científico-tecnológicas,

Utilizaremos el esquema del **gráfico N° 14** para representar la relación entre las motivaciones científicas (*“Interés por la búsqueda de conocimiento básico”* en el eje vertical) y las motivaciones ingenieriles (*“Interés por la aplicación”* en el eje horizontal):

- En el cuadrante 1 ubicamos las aplicaciones ingenieriles estándar.
- En el cuadrante 2 ubicamos las aplicaciones ingenieriles avanzadas (el cuadrante de Edison en la terminología de Stokes). En este cuadrante hay poca actividad en el país y principalmente se localiza en unas pocas empresas innovadoras.
- En el cuadrante 3 ubicamos la Ciencia pura o Ciencia motiva-

¹³ Donald E. Stokes, *Pasteur's Quadrant - Basic Science and Technological Innovation*, Brookings Inst. Press, Washington D.C., 1997

Gráfico N° 14. El espacio de interrelación ciencia-tecnología



da por la curiosidad (el cuadrante de Bohr en la terminología de Stokes). En este cuadrante en general se localiza la actividad que desarrollan los investigadores argentinos, mayoritariamente miembros de la carrera del CONICET.

- En el **cuadrante 4** ubicamos la articulación científico-tecnológica (el cuadrante de Pasteur en la terminología de Stokes). Este cuadrante en nuestro país se encuentra prácticamente desierto y es, notablemente, el que está relacionado con el diseño y producción de productos innovativos de alto valor agregado.

Es interesante notar que hoy en nuestro país, mientras la mayoría de los científicos localiza su actividad en el **cuadrante 3** (Bohr), la mayoría de los ingenieros lo hace en el **cuadrante 1**.

6.2. La formación de los futuros ingenieros

Los ingenieros y científicos necesarios para trabajar en el **cuadrante 4** son:

- **Ingenieros-científicos:** ingenieros con sólida formación en ciencias básicas y en ciencias de la Ingeniería; también licenciados en física, química, materiales, matemáticas, ciencias de la computación, etc. con fuerte afinidad con el desarrollo de temáticas tecnológicas. Estos *Ingenieros-científicos* son la fuente para reclutar los futuros doctorandos en Ingeniería.
- **Científicos-ingenieros:** son doctores en Ingeniería o en Ciencia que se concentran en temáticas de desarrollo tecnológico.

Si la formación de los futuros ingenieros apunta a desarrollar los conocimientos necesarios

para trabajar en el **cuadrante 4**; es decir si se planifica la formación de *ingenieros-científicos* podríamos seguramente estar “sobre-formando” a una gran cantidad de ingenieros en relación con los requerimientos actuales del mercado laboral pero estaríamos caminando hacia lo que estratégicamente debería ser nuestra meta. Paralelamente iríamos transitando de una facultad de Ingeniería que transmite conocimientos tecnológicos a una facultad de Ingeniería que investiga, desarrolla y transmite conocimientos tecnológicos, con el salto cualitativo que esto implica.

La justificación social de este planteo requiere tener en cuenta dos consideraciones fundamentales:

1. La universidad no debería limitarse a satisfacer requerimientos actuales del mercado laboral sino que debe jugar un rol en el planeamiento estratégico de la Nación.
2. La formación universitaria no es simplemente un entrenamiento para desempeñar un oficio sino que implica una formación cultural superior a la que los ciudadanos tienen claro e irrenunciable derecho.

Sin embargo, es de esperar que un importante número de estudiantes de Ingeniería prefiera una formación más estándar que los habilite más rápidamente para ocupar los puestos de trabajo actualmente existentes.

Esta necesidad requiere ser contemplada creativamente.

Sabemos lo que no funciona: una carrera de Ingeniería larga seguida de una maestría de especialización en general arancelada. Este planteo no solo avanza peligrosamente hacia el arancelamiento de la universidad pública sino que además es incoherente, pues las carreras de Ingeniería son vaciadas de contenido sin acortar su duración.

Una propuesta a ser desarrollada podría ser la de crear Licenciaturas en Ingeniería, con una duración de 4 años reales. Estas licenciaturas no pueden ser salidas intermedias de la carrera “larga” sino que deben estar especialmente diseñadas, pues las salidas intermedias mantienen la formación básica necesaria para los *ingenieros-científicos* y no llegan a la información tecnológica que se localiza en la última etapa de la carrera y es donde las Licenciaturas en Ingeniería deberían poner el acento.

Desde ya que existe un cúmulo de elementos a ser repensados y que por las lógicas limitaciones de espacio no discutiremos en este artículo, entre ellos: la necesidad de aumentar el número de docentes-investigadores *full-time*, sobre todo en las materias tecnológicas; la necesidad de incrementar la dedicación horaria de los alumnos, apuntando a alumnos becados *full-time* aumentando asimismo la equidad social en la selec-

ción de becarios; decidir sobre la relación con el sector productivo; etc.

7. Conclusiones

La Argentina es un país con un importante desarrollo científico de alta calidad; sin embargo, transformar el conocimiento científico

en desarrollos tecnológicos, con el impacto que esto implica sobre la creación de puestos de trabajo de calidad y la generación de riqueza, es una urgente tarea pendiente.

El Estado argentino es el gran sujeto, el único, que podrá impulsar esta transformación.