

Las colecciones de Documentos de Trabajo del CIDE representan un medio para difundir los avances de la labor de investigación, y para permitir que los autores reciban comentarios antes de su publicación definitiva. Se agradecerá que los comentarios se hagan llegar directamente al (los) autor(es).

❖ D.R. © 1997, Centro de Investigación y Docencia Económicas, A. C., carretera México-Toluca 3655 (km. 16.5), Lomas de Santa Fe, 01210 México, D. F., tel. 727-9800, fax: 292-1304 y 570-4277. ❖ Producción a cargo del (los) autor(es), por lo que tanto el contenido como el estilo y la redacción son responsabilidad exclusiva suya.



CIDE

NÚMERO 88

Juan Rosellón

**UNA RESEÑA SOBRE TEMAS ESENCIALES
DE LA ECONOMÍA DE LA CIENCIA**

Introducción

El objetivo del presente documento es la reseña de diversos desarrollos analíticos y empíricos recientes de la economía de la ciencia. Estos desarrollos son de interés para la problemática actual de la política científica mexicana.

Los economistas han hecho numerosos estudios con respecto a las fuentes de la innovación tecnológica y las implicaciones de ésta con respecto al crecimiento de la productividad, la producción y el bienestar. Sin embargo, la *economía de la ciencia* no ha sido analizada en la literatura con el mismo detalle e ímpetu que la *economía de la tecnología*.

En este documento, resumimos algunos de los más recientes avances del análisis económico de la ciencia. Este análisis debe entenderse en el contexto de un sistema que engloba a las actividades de investigación científica y tecnológicas. Dichas actividades se interrelacionan, retroalimentan y enriquecen mutuamente. En realidad, la abrupta separación entre ciencia básica y tecnología es por demás arbitraria, ya que el grado de "basicidad" (*basicness*) de una investigación se mide en un continuo que tiene en sus extremos a la investigación básica "pura" (en un extremo) y a la aplicación tecnológica (en el otro extremo).

Este artículo hace abstracción de esta última problemática y se concentra en el estudio de aspectos relacionados con la investigación básica. En general, los resultados de este tipo de investigación no son patentables ya que no cumplen con el requisito de utilidad y aplicabilidad de las patentes¹.

1. Enfoques "tradicional" y "nuevo" de la economía de la ciencia.

Las ideas germinales de los primeros estudios hechos con respecto a la economía de la ciencia se fundamentaron en tres ideas esenciales²:

i) El análisis costo-beneficio de la investigación básica es muy complicado. Esto se debe a que, en general, los "rastros" que deja dicha investigación son muy

¹ Bajo este requisito, las solicitudes de patentes deben incluir una descripción detallada de la aplicabilidad y utilidad del invento. Evidentemente, este requisito difícilmente lo cumplen los productos de la investigación básica.

² Entre estos estudios se encuentran Blank y Stigler (1957) y Arrow y Capron (1959) (con respecto a los determinantes económicos de la oferta de científicos e ingenieros), Nelson (1959) y Arrow (1962) (sobre las implicaciones de la imposibilidad de la apropiación privada del valor económico de los descubrimientos de la investigación básica) y Griliches (1960) (pionero en trabajo empírico sobre la cuantificación de las derramas económicas derivadas de la innovación basada en ciencia).

escasos lo que dificulta la medición de las derramas (*spillovers*) generadas por los descubrimientos científicos.

ii) Los rendimientos de la inversión en investigación básica son inciertos debido principalmente a que los derechos de propiedad de tal investigación son difíciles de establecer y defender. Esto también implica que es difícil conocer las implicaciones sobre el bienestar social de gastos en ciencia básica.

iii) Existe una falla de mercado debido a la divergencia entre los rendimientos privados y sociales de inversiones en ciencia básica. Tal falla puede implicar que se de una "subinversión" social en la ciencia.

Estas ideas de la economía de la ciencia tradicional no fueron desarrolladas debido, principalmente, a su incapacidad de analizar los problemas concretos que enfrenta el diseño de políticas científicas. En realidad, la literatura tradicional de la economía de la ciencia trata al conocimiento como cualquier otro bien público durable, sin preocuparse mucho por encontrar las características que diferencian al conocimiento de otros bienes públicos durables. Esto ocasionó que dicha literatura no entendiera las implicaciones económicas de las distintas características y normas de la ciencia generada por instituciones académicas, gubernamentales o industriales.

La "nueva" economía de la ciencia ha intentado llevar su análisis mas allá de los alcances del enfoque tradicional. Las particularidades del análisis de la nueva economía de la ciencia se basan en tres características de los procesos de producción, disseminación y uso del conocimiento:

- En primer lugar, ciertos insumos para la producción de ciencia, tales como los esfuerzos de investigación, el talento científico y los elementos de incertidumbre en la realización de los descubrimientos, son muy costosos para poder ser monitoreados. Por tanto, se da una situación "principal-agente" donde el principal (el empleador público o privado) difícilmente observa las actividades del agente (el investigador).
- Segundo, existen economías de escala, costos fijos e "indivisibilidades" inherentes al proceso de conocimiento.
- Tercero, el conocimiento generado por la investigación básica puede no ser divulgado públicamente si el investigador así lo elige. Cuanto conocimiento es guardado en secreto y cuanto se divulga dependerá principalmente de la estructura del sistema remunerativo del investigador.

Por lo tanto, ya que la producción del conocimiento está "plagada" de incertidumbre y asimetrías de información³, los desarrollos recientes en las áreas de

a) distribución de recursos bajo condiciones de información asimétrica e incompleta,

b) teoría de "diseño de mecanismos" y c) teoría de agentes y contratos óptimos, contribuyen al análisis económico de la investigación básica. Asimismo, es

³ Como, por ejemplo, lo ilustran Meckling (1962) y Norris (1971) para proyectos industriales de investigación.

importante tener en cuenta en dicho análisis las implicaciones que las distintas características de las instituciones científicas tienen en la eficiente asignación de recursos para la ciencia.

Muchas de las implicaciones de la nueva economía de la ciencia no han podido ser desarrolladas en detalle o cuantificadas (como lo establecen Dasgupta y David (1987, 1988 y 1994). Sin embargo, en su presente estado, el nuevo enfoque de la economía de la ciencia puede ayudar al análisis de bienestar de la asignación pública de recursos a la investigación básica. Este nuevo enfoque alerta sobre el peligro de políticas cortoplacistas que desvíen excesivamente recursos hacia las aplicaciones comerciales de los descubrimientos científicos, en perjuicio del sostenimiento de una infraestructura científica. Esto podría originar que muchos de los beneficios de los desarrollos científicos y tecnológicos no pudieran ser apropiados.

2. La naturaleza del conocimiento científico (hechos estilizados).

La "información" puede entenderse como conocimiento que ha sido transformado a mensajes simples que pueden ser comprendidos por los agentes económicos. La conversión del conocimiento en información es una condición necesaria para el trato del conocimiento como un bien económico. Un paso en tal proceso de conversión es la "codificación" del conocimiento que permite la eficiente transmisión, verificación, almacenamiento y reproducción de la información.

El conocimiento codificado puede verse como un *bien público durable* ya que a) es durable, b) puede ser usado por muchos consumidores a la vez, y c) costosas medidas deben ser tomadas para evitar su uso. Por tanto, el conocimiento codificado no es un bien público *puro* ya que no es "no-excluíble" en el sentido de que es posible excluir a otros de sus beneficios (a través de, por ejemplo, patentes, "copyrights", etc.).

Adicionalmente, existe un elemento "tácito" del conocimiento que se basa en las habilidades y técnicas adquiridas a través de experiencia o transferidas vía instrucción y servicios (tales como consultorías). Este tipo de conocimiento (que no se resume en métodos codificados, no se patenta o pública en revistas) suele ser muy importante sobre todo en la implementación de las innovaciones técnicas. Cuanto conocimiento es codificado y cuanto permanece tácito es usualmente una decisión del investigador que depende de la estructura remunerativa de éste y de los costos de codificación.

Por otra parte, las actividades de investigación pueden desembocar en conocimiento científico o en conocimiento tecnológico dependiendo de la naturaleza de objetivos de la investigación y de las normas de comportamiento (en cuanto a divulgación de los descubrimientos) y las características de los sistemas

remunerativos del investigador. En general, puede decirse que aquella investigación que se mantiene relativamente *secreta*⁴ y que se hace con el fin de vender sus resultados, generará un conocimiento tecnológico.

Es sabido que el mecanismo de mercado tiende a desestimular la producción de bienes públicos ya que los productores no pueden *apropiarse* de los beneficios de su actividad en función del problema "*free rider*". Por tanto, para poder generar una producción eficiente de conocimiento tecnológico o científico el mecanismo de mercado necesita de intervenciones externas típicamente públicas (como es el caso de los derechos de propiedad intelectual).

En lo que se refiere al conocimiento científico, la intervención pública puede tomar la forma de un involucramiento directo del gobierno en la producción de conocimiento. Bajo este esquema, el costo de esta producción se financia con fondos públicos (mediante impuestos) y el uso del conocimiento generado es libre.

En el caso del conocimiento tecnológico, pueden enumerarse dos esquemas posibles para la intervención pública:

- El primer esquema es que la sociedad provea derechos de propiedad intelectual (o patentes) a los inventores privados. Esto crea mercados privados por el conocimiento en donde se establecen diferentes precios para diferentes compradores --ya que estos compradores valoran la información de forma diferente-- lo que a su vez origina la existencia de monopolios bilaterales y evita la emergencia de un sistema eficiente de precios⁵.

En teoría, un elemento que dificulta el establecimiento de patentes es que un comprador potencial de conocimiento necesita tener información antes de hacer su compra. Una vez que el comprador obtiene información, es muy difícil que el vendedor pueda evitar que el probable comprador obtenga beneficios de la información que adquirió en caso de que la transacción no se llegue a efectuar.

No obstante, los derechos de propiedad permiten que los beneficios de la investigación tecnológica sean apropiados privadamente. Aunque esto suceda de forma monopólica (lo que lleva a una subutilización del conocimiento), los beneficios asociados a los derechos de propiedad hacen que los investigadores encuentren atractivo el desarrollo de sus actividades.

- El segundo esquema posible es que la producción del conocimiento tecnológico sea subsidiada públicamente a través de impuestos. En este esquema los resultados de la investigación tecnológica no se patentan privadamente⁶. Este esquema es característico de las universidades donde los inventos no pueden ser patentados por los investigadores y en donde los salarios provienen de fondos públicos.

⁴ Entre más tácito sea un conocimiento mayor será la posibilidad de mantenerlo en secreto

⁵ A esta diversidad de precios se le conoce como precios de Lindahl (Musgrave y Peacock (1958)).

⁶ Como en Dasgupta y Heal (1979).

Como es bien sabido, la teoría de las finanzas públicas ha tenido dificultades para establecer cual sería un subsidio óptimo. No queda muy claro si dicho subsidio debe fundamentarse en el tiempo dedicado por los investigadores a su trabajo, o en la naturaleza de sus investigaciones, o en la frecuencia y calidad de sus productos de investigación.

3. Análisis costo-beneficio de la investigación básica.

El análisis tradicional costo-beneficio de los rendimientos económicos de la inversión pública en la ciencia identifica ciertos eventos o descubrimientos críticos y los atribuye a una cierta inversión en investigación básica. Sin embargo, algunos supuestos "heroicos" son hechos para poder comparar los costos de obtener resultados de investigación básica y las rentas o el excedente del consumidor generados por la aplicación de tales resultados. Por ejemplo Griliches (1960) y Lederman (1985) asumen que los rendimientos económicos implicados por una cierta inversión en investigación básica no pudieron ser generados por "métodos sustitutos alternos". Por tanto, el costo de estos sustitutos no es incorporado en su análisis.

Asimismo, el método standard de rastrear "hacia atrás" las inversiones en investigación básica y calcular la tasa de retorno a partir de estimaciones de los beneficios sociales no está libre de fallas. Este método: i) ignora el costo de gastos en investigación básica que no arrojaron ningún producto tangible, ii) subestima el valor que un descubrimiento en investigación básica tiene en evitar las pérdidas generadas por seguir ciertas líneas de investigación aplicada, y iii) ignora los resultados de largo plazo generados por gastos en investigación básica.

Por otra parte, otros análisis que estudian el desarrollo en cuanto a productividad de industrias que invierten en investigación básica (tales como Mansfield (1980), Link (1981) y Griliches (1986)) tienen un alto nivel de agregación y no abordan las diferencias interindustriales en cuanto a oportunidad o apropiabilidad tecnológica. También, estos análisis no muestran como los rendimientos económicos de la investigación básica son logrados, ni proveen una base de comparación del impacto de la investigación básica entre distintas disciplinas científicas.

Lo anterior lleva a que los resultados del análisis costo-beneficio tradicional de la investigación básica deban ser tomados con mucho cuidado por la política científico tecnológica. Como Rosenberg (1990) y Mowery y Rosenberg (1989) explican, una aceptación no crítica de estos resultados puede llevar a conclusiones de política erradas tal como el creer que la simple expansión del gasto en ciencia básica mejorará el desempeño económico e innovativo en un país. Como Teece (1986) argumenta, la comercialización de los avances tecnológicos logrados por la

investigación básica requiere de acervos e inversiones complementarios a la inversión inicial.

En realidad, como David, Mowery y Steinmueller (1992) enfatizan, los canales a través de los cuales la ciencia básica realiza su impacto económico son diversos. Esto hace muy difícil el "rastreo" del camino que sigue la información generada por una investigación básica desde la inversión inicial en tal investigación hasta la generación de rendimientos económicos. Por un lado, la información generada por una investigación básica puede ser aplicada directamente a la creación de nuevos productos. Por otro lado, los productos de la ciencia básica también pueden ser insumos para otras actividades de investigación básicas o aplicadas que forman la base de nuevos productos o procesos. También, los productos de la ciencia básica pueden ayudar a mejorar productos o procesos que se basaban principalmente en otros descubrimientos científicos o tecnológicos. Lo que es más, aún los aparentes "fracasos" o fallidos intentos en investigación básica pueden proporcionar información que guíe a la distribución de inversiones hacia investigaciones que arrojen productos comerciables

Adicionalmente, los proyectos de las ciencias básicas generan subproductos (*byproducts*) entre los que se incluyen: i) la educación de los científicos en habilidades avanzadas de experimentación o teóricas (cuando los proyectos se realizan en instituciones académicas), ii) la creación de redes sociales a través de las cuales la información puede difundirse (cuando los proyectos están ligados al entrenamiento de científicos) y iii) creación de demandas por "tecnología de la ciencia básica" (tal como instrumentos necesarios para conducir experimentos científicos). En un análisis de costo beneficio, estos subproductos también tienen relevancia al considerar el impacto comercial que puede tener un gasto en alguna investigación básica.

Por tanto, el flujo de información generado por la investigación básica está ligado de formas complejas e interactivas a la investigación aplicada y la innovación. Este flujo de información es tal que no permite un análisis costo-beneficio "lineal" para las ciencias básicas. Entonces, es evidente la necesidad de un marco analítico alternativo para lograr el estudio de i) la generación de información y el mecanismo de aprendizaje en el proceso de investigación básica, ii) las relaciones organizacionales entre la investigación básica y aplicada, iii) los posibles incentivos para una diseminación eficiente del conocimiento originado en la investigación básica. Este marco debe basarse en considerar que la investigación básica raramente produce beneficios económicos directos; más bien los productos informacionales de la investigación básica son "insumos intermedios" para investigaciones subsiguientes que desemboquen en aplicaciones. Estos productos informacionales son tales que producen valiosa información ya sea "positiva" o "negativa" (aún los intentos no exitosos de la investigación básica proveen información que puede guiar a las inversiones en diversas opciones de investigación aplicada). Asimismo, el

marco alternativo debe enfatizar las complejas interacciones entre la investigación básica y aplicada como la mas importante fuente de los beneficios económicos generados por la ciencia.

David, Mowery y Steinmueller (1992) desarrollan algunos elementos preliminares respecto a este marco alternativo basándose en i) el marco analítico de Evenson y Kislev (1975) y David P.A. y Stiglitz (1979) para estudiar el problema de distribución de recursos entre actividades de ciencia básica y aplicada, y ii) en la teoría de "búsqueda óptima" (ver McCall y Lippman (1980) y David (1974)). El enfoque de David, Mowery y Steinmueller parte de que la investigación aplicada es una actividad de muestreo de una distribución de productos (o procesos) potenciales, cada uno de los cuales tiene un conjunto de atributos económicos. En su etapa de desarrollo, la investigación aplicada involucra la selección de aquellos productos (o procesos) potenciales de la muestra cuyos atributos percibidos ofrecen el mas alto rendimiento económico. En este contexto, la investigación básica puede proporcionar información acerca de la naturaleza de la distribución subyacente a los productos (o procesos) potencialmente rentables. Esto es, la ciencia básica puede proveer una base informacional poderosa para las decisiones sobre el proceso de muestreo⁷. Esto mejora la efectividad con la cual los recursos destinados a la investigación aplicada pueden ser destinados entre alternativas competidoras.

Sin embargo, David, Mowery y Steinmueller explican que las diferentes áreas de la ciencia básica pueden variar considerablemente en la cantidad de información que revelan con respecto a las distribuciones potenciales de los rendimientos en áreas relacionadas de la investigación aplicada. En decidir cuales campos de la ciencia básica prometen ser mas útiles en revelar las posibilidades de la ciencia aplicada, los tipos de vínculos entre ambas clases de ciencia son cruciales. David, Mowery y Steinmueller utilizan el concepto matemático de "mapeos homotópicos" para hacer una descripción formal de tales vínculos.

Dos mapeos se dicen homotópicos si uno puede ser transformado continuamente en el otro. Los mapeos homotópicos son elementos de una familia de mapeos con un solo parámetro, donde este parámetro es continuo⁸. Este concepto puede ser utilizado en distintos campos de la ciencia para comparar diferentes vínculos (mapeos) entre investigación básica e investigación aplicada⁹. Si dos de estos vínculos son homotópicos la información sobre la aplicación de conceptos básicos puede ser transportada de campos científicos relativamente distantes. Por

⁷ Tales como donde llevar a cabo el muestreo y que tan grande debe ser la muestra.

⁸ Para una discusión mas amplia de los mapeos homotópicos ver Munkres (1975).

⁹ Formalmente, sean f y g dos mapeos continuos del espacio B (de investigaciones básicas) en el espacio A (de investigaciones aplicadas). f es homotópico a g si existe un mapeo continuo $F: B \times I \rightarrow A$, tal que $F(x,0) = f(x)$ y $F(x,1) = g(x)$ para cada $x \in B$ (donde $I = [0,1]$). El mapeo F es llamado una *homotopia* entre f y g . " f es homotópico a g " se escribe $f \cong g$

ejemplo, el conocimiento de la modulación de frecuencias de la energía radial puede ser transportado al estudio del diseño de sistemas ópticos¹⁰. La existencia de mapeos homotópicos puede entonces permitir que el avance de distintos campos de la investigación básica y aplicada se centren en problemas de factibilidad e implementación práctica mas que en el descubrimiento de nuevos fenómenos. Asimismo, en ciertas áreas científicas los mapeos homotópicos pueden permitir que el estudio detallado de una sola porción de un sistema entero provea generalizaciones aplicables a otras porciones del sistema¹¹.

Por otro lado, recientemente se han hecho algunos estudios empíricos acerca de los vínculos entre ciencia básica y aplicada. Estos estudios estiman las derramas (*spillovers*) que se generan de las actividades de investigación de la academia y de las compañías privadas, a través del uso de la información de las patentes. Por ejemplo, Jaffe (1986) cuantifica para los Estados Unidos los efectos que sobre la productividad de la investigación y desarrollo (I&D) de una firma tienen las derramas de la I&D de otras empresas. Jaffe (1989) también lleva a cabo un estudio similar pero para explorar las derramas de la investigación de las universidades a la innovación comercial. Asimismo, Jaffe, Trajtenberg y Henderson (1993) analizan la influencia que la localización geográfica tiene sobre las derramas de conocimiento en los Estados Unidos.

4. Problemas de regulación y principal-agente en la economía de la ciencia.

Existen diversas características del sistema remunerativo y de las estructuras institucionales de la ciencia básica que originan un ambiente de incertidumbre en las actividades de investigación. Por tanto, potencialmente hay un campo amplio para la aplicación de la teoría de contratos y de mecanismos institucionales a la economía de la ciencia. En particular, el estudio de las actividades de regulación y adquisiciones de las agencias gubernamentales de ciencia y tecnología podría verse enriquecido por el uso de tal teoría.

Como Laffont y Tirole (1993) establecen, los problemas de adquisiciones del gobierno (*government procurements*) y regulación son distintos desde el punto de vista de la teoría de la economía pública. Las adquisiciones del gobierno pueden analizarse en el contexto de una relación principal-agente en el que el principal es también el comprador del bien ofrecido. La regulación, en cambio, se refiere a situaciones en las que una firma actúa como agente del gobierno y vende sus productos a terceros compradores. Por tanto, la estructura de la regulación tiene varios puntos en común con la estructura de la relación principal-agente que se da en

¹⁰ Ver Gunderson y Keck (1988).

¹¹ En la biología molecular los estudios de un solo organismo con DNA (como el *E.coli*) han arrojado resultados que son aplicables a otros organismos.

la economía de la ciencia (donde el principal es la agencia gubernamental y el agente es el investigador). Sin embargo, rasgos distintivos que caracterizan a el análisis principal-agente de la economía de la ciencia son: i) los agentes ofrecen información mas que productos tangibles, y ii) muchas actividades de regulación son delegadas de manera colectiva por el principal a los agentes (tales como las actividades de evaluación por colegas [*peer evaluation*]).

El análisis regulatorio de la economía de la ciencia debe tener en cuenta diversos aspectos relacionados con el comportamiento del agente (investigador) así como con los métodos de evaluación y remuneración de éste. En las siguientes subsecciones analizamos estos aspectos, desglosando algunos detalles acerca de la evaluación, remuneración y comportamiento de los investigadores científicos.

4.1 Evaluación de la producción científica

Los investigadores académicos están prácticamente obsesionados por publicar. Esto es debido a que el reconocimiento, prestigio, salario, definitividad de puesto laboral y acceso a recursos materiales y humanos dependen del número y calidad de publicaciones. Algunos estudios han confirmado que las publicaciones están fuertemente correlacionadas con el "impacto" evaluado por colegas (incluyendo las evaluaciones por colegas de solicitudes de apoyos de investigación), y que las citas están altamente correlacionadas con la reputación y prestigio¹².

Sin embargo, el uso de la frecuencia en publicaciones y citas como indicadores de calidad científica ha estado sujeto a una gran controversia y no solo debido a una reacción hostil por parte de los científicos¹³. Algunos de los aspectos mas problemáticos de estas medidas de la producción científica son

- La publicación y aún el artículo (o *paper*) son, en muchas áreas de la ciencia, medidas de evaluación no muy bien definidas;
- Las publicaciones pueden variar en calidad; las casas editoriales y revistas varían en cuanto a sus estándares mínimos, reputación y alcance en lectores;
- Las prácticas en cuanto a citas pueden no ser rigurosas; muchas de las bases de datos solo reportan al primer autor lo que puede generar sesgos debido a la existencia de convenciones diferentes en cuanto al ordenamiento de nombres en las distintas ramas científicas;
- La calidad de las contribuciones científicas no puede ser siempre evaluada ponderando las publicaciones con medidas (basadas en frecuencia de citas) de impactos de las revistas científicas, ya que los datos sobre citas son muy problemáticos.

¹² Ver Cole y Cole (1973), Gaston (1978), Zuckerman (1977) y Cole y Zuckerman (1984).

¹³ Ver por ejemplo en Van Raan (1988), el capítulo por Stephan y King.

4.2 El Sistema de Remuneración para la Ciencia

En la actividad científica la "regla de prioridad" de un descubrimiento es la base para el establecimiento de una reputación. De esta manera, el investigador que logra primero un descubrimiento en una carrera científica es el que acapara el prestigio. Mientras tanto, todos los demás investigadores que resultaron "perdedores" en la carrera, difícilmente recibirán crédito.

En este contexto, el sistema de remuneración a los científicos debe absorber el riesgo que corren todos aquellos que se participan en una carrera por un descubrimiento. De otra forma, si solo el ganador de la carrera recibiera una remuneración, la actividad científica sería una profesión demasiado riesgosa. Esto sugiere que el pago de los científicos conste de un salario fijo por entrar a la ciencia, mas premios adicionales a los ganadores de carreras científicas.

Sin embargo, es claro que para que la regla de prioridad funcione el objetivo de la carrera debe ser reconocido como valioso. Los colegas (*peers*) científicos son los que definen tales objetivos creando en la comunidad científica un ímpetu acumulativo y en cadena para el avance del conocimiento.

Por otra parte, el sistema de remuneración en la ciencia establece una tensión entre cuanta información de un descubrimiento es mantenida en secreto por el descubridor y cuanta es divulgada. Si mucha información es mantenida en secreto, pueden originarse ineficiencias en cuanto al bienestar social ya que los resultados de un primer descubrimiento pueden constituir la base para subsecuentes descubrimientos.

Como David (1994) lo ilustra, algunos aspectos de la teoría de juegos pueden ser aplicados para explicar el comportamiento cooperativo entre investigadores potencialmente rivales. Supongamos que tenemos dos investigadores trabajando en dos subproblemas distintos que forman parte de un mismo proyecto científico. Una vez que uno de los investigadores conoce la solución del problema del otro investigador, solamente requiere de escribir los resultados y mandarlos para su publicación para ganar la prioridad del descubrimiento.

El problema es si el primer investigador en resolver su subproblema debe adoptar la estrategia (C) de compartir su información con el otro investigador o si debe seguir la estrategia (R) de retener su información. Si, sin ninguna comunicación previa, los dos investigadores juegan la estrategia (C,C), éstos pueden proceder de inmediato a la publicación de resultados. Si, en cambio, ellos juegan la estrategia (C,R) entonces el segundo investigador procederá a publicar. En el caso de que adopten la estrategia (R,R) tendrán que dedicar mas tiempo en resolver el subproblema del otro investigador.

Si solamente se lleva a cabo una vez, este juego tendrá la estructura clásica del "dilema del prisionero". Por tanto, el sistema de remuneración basado en la regla de la prioridad llevará al resultado (R,R) que es evidentemente no óptimo a nivel

individual y social (debido al tiempo innecesariamente largo que se debe esperar para tener resultados del proyecto). Sin embargo, si a) el juego se repite infinitamente, b) con una tasa futura de descuento no muy grande y c) si la estrategia presente de no cooperar es castigada (y recordada), entonces una solución como (C,C) puede ser posible.

Tomando en cuenta de que en la realidad existen mas de dos investigadores en una potencial rivalidad, el anterior análisis se puede extender a un juego de n agentes involucrados en un proyecto con m subproblemas (donde suponemos que $n > m$). Evidentemente, es ventajoso pertenecer a una coalición en la que existe libre flujo de información ya que esto les dará oportunidad a los miembros de juntar las soluciones de los m subproblemas. Sin embargo, pueden existir investigadores que, en busca de ganar la carrera por publicar, se comporten oportunísticamente a través de retener información dentro de su grupo o a través de filtrar información del grupo al que pertenecen hacia gente fuera del grupo. En este caso, es difícil que se de la cooperación a menos de que los oportunistas puedan ser detectados y castigados mediante la destrucción de su reputación (lo que implicaría la exclusión de los oportunistas de cualquier coalición).

4.3 La concentración de la productividad en la ciencia

Un fenómeno fundamental del comportamiento general de los investigadores es el de las marcadas diferencias que existen entre el número de artículos que los académicos publican. Price (1963) y Andrews (1979) encontraron, en estudios para varios países, que 10 al 15 por ciento de los científicos que constituyen la élite de productividad y prestigio son responsables de cerca de la mitad de la ciencia que se produce.

La literatura empírica basada en la contabilidad de publicaciones ha descubierto cuatro hechos relevantes con respecto a la productividad de los científicos:

- Primero, la distribución de las productividades de los investigadores (o la distribución de frecuencias del número de artículos publicados en un determinado intervalo de tiempo) es sesgada a la izquierda (*left-skewed*) con una larga cola hacia la mano derecha y una sola moda localizada en "1 artículo". Lotka (1926) formuló esta distribución que en palabras se describe así: "si k es el número de científicos que publican un artículo, entonces el número de científicos que publican n artículos en el mismo campo es $f(n) = k/n^2$ "; de esta forma si 100 científicos han publicado cada uno un artículo, 25 han publicado 2, 11 habrán publicado 3, 4 tendrán 5, etc. Price (1963) formuló una variante de la ley de Lotka que permite el cálculo del tamaño del subconjunto mas prolífico de científicos. De acuerdo a la "Ley de Price", un medio del total de artículos publicados por una población de P científicos será el trabajo de los $P^{1/2}$ científicos mas productivos.

- Segundo, las identidades de los científicos que ocupan las secciones altas y bajas de las distribuciones de productividad permanecen estables durante el tiempo de vida de una generación o cohorte (*cohort*) de científicos. Esto es debido a que las distribuciones sesgadas a la izquierda reflejan una estratificación de la productividad intertemporal estable de la población¹⁴.
- Tercero, hay una tendencia a que las publicaciones de una cohorte de científicos crezca concentrándose cada vez más con el paso del tiempo en los miembros más prolíficos. Por tanto, las medidas invariantes de escala de dispersión en las distribuciones de las tasas de publicación (tal como el índice de Gini y el coeficiente de variación) se incrementan a medida que la cohorte "envejece"¹⁵.
- Cuarto, el género importa en cuanto a la productividad científica: las mujeres científicas publican menos que los hombres¹⁶.

Los hechos segundo y tercero sugieren que debe existir un proceso estocástico que genera la distribución sesgada a la izquierda que caracteriza la productividad de los científicos. Price (1976) usa un modelo de muestreo con "sobre-reemplazo" para describir este proceso¹⁷. El modelo describe a un investigador seleccionando pelotas de una urna que contiene pelotas rojas y blancas. Estas pelotas están mezcladas en proporciones que representan las probabilidades de éxito (pelotas rojas) o fracaso (pelotas blancas) de generar un tipo de evento (evento que en este caso es una publicación científica). Como el proceso de muestreo se realiza con "sobre-reemplazo", cualquier pelota seleccionada de la urna es regresada con un número adicional de pelotas del mismo color.

Si más de una pelota del mismo color es regresada con cada selección de una pelota de la urna, las probabilidades de éxito para una parte de la población tenderán a cero, mientras que las probabilidades de éxito para la parte restante tenderán a uno. En el caso de que exactamente una pelota del mismo color sea regresada en cada selección de la urna, el Teorema de Polya muestra que, en el límite, la probabilidad de éxito para cada individuo puede estar entre uno y cero dependiendo de la *suerte temprana* en el proceso de selección sucesiva de pelotas. Price muestra entonces que la población total de urnas representará una mezcla de procesos de Poisson, donde cada individuo tiene una probabilidad media de éxito. Esto lo lleva a concluir que el número acumulativo de éxitos generados por la mezcla resultante de procesos de

¹⁴ Las distribuciones sesgadas a la izquierda están presentes en la economía en, por ejemplo, las distribuciones del tamaño de las firmas, las distribuciones de ingreso y riqueza y en otras distribuciones que tienen que ver con las dimensiones del desempeño económico. Algunos estudios han mostrado que las distribuciones de productos científicos muestran mayores grados de desigualdad que las distribuciones de ingreso (ver Williamson y Lindert (1980)).

¹⁵ Estudios de este fenómeno para áreas de química, física, matemáticas y bioquímica han sido elaborados por Allison y Stewart (1974) y Allison, Long y Krauze (1982).

¹⁶ Con respecto a este punto ver Cole y Zuckerman (1984).

¹⁷ Este proceso de sobre-reemplazamiento también es conocido como el proceso de Polya (ver, por ejemplo, Feller (1968)).

Poisson sigue una distribución binomial negativa, lo que resulta una alternativa a la Ley de Lotka.

Lo anterior implica que las oportunidades en selecciones sucesivas de pelotas cambiarán como resultado de la historia pasada en una dirección que reforzará la experiencia acumulada del pasado. Esto es, una población con individuos idénticos, que empezaron con las mismas oportunidades, pronto se volverá heterogénea en las respectivas probabilidades de éxito. De acuerdo con David (1992), la distribución de la productividad de los investigadores debe provenir de una interacción entre la población heterogénea de investigadores y el ambiente cuyo sistema remunerativo amplifica los efectos de diferencias inicialmente pequeñas en productividad potencial. En otras palabras, la diferencia en productividad en una cohorte de investigadores proviene de un proceso intertemporal en el cual científicos igualmente dotados (en cuanto a talento y preparación) al inicio de sus carreras van siendo cada vez más desiguales en su productividad al pasar el tiempo debido a los éxitos que obtienen en sus publicaciones (éxitos que según David pueden provenir de eventos enteramente fortuitos). Con el paso del tiempo, una parte de la cohorte decide retirarse de la investigación en función de experiencias negativas de publicación. En contraste, aquellos investigadores que permanecen activos debido a experiencias exitosas de publicación continuarán produciendo a un ritmo creciente hasta su jubilación.

En tal sentido, Merton (1968) considera que los científicos que adquieren eminencia reciben por lo general un crédito crecientemente desproporcionado por sus contribuciones. Esto es debido a que hay un proceso que se autoreforza que afecta la productividad así como el reconocimiento en la ciencia. Los científicos que van siendo altamente reconocidos encuentran más fácilmente recursos para investigación: dinero, tiempo libre, laboratorios, retroalimentación de colegas, estudiantes capaces, etc. En contraste, los científicos que van recibiendo poco reconocimiento obtienen muy pocos recursos lo que los lleva a la desmotivación y, consecuentemente, a menor productividad.

Una propuesta de modelación alterna a los hechos estilizados primero a tercero enumerados en esta sección 4.3 es proporcionada por David (1992). Como ya hemos visto, estos hechos son producto de un proceso estocástico de causalidad acumulativa donde pequeñas diferencias en logros iniciales de los investigadores se magnifican a través del tiempo. Los procesos estocásticos que se retroalimentan positivamente son elementos de análisis más generales sobre sistemas dinámicos de distribución de recursos (como la programación dinámica y el control óptimo). Tales sistemas son especialmente relevantes en el análisis evolucionario del cambio tecnológico así como en la dinámica de expectativas y juegos de coordinación, en donde puede demostrarse la existencia de una multiplicidad de equilibrios estables o "atractores". En dichos sistemas, pequeñas perturbaciones o choques en puntos

iniciales de un sendero (*path*) pueden ser suficientes para llevar al sistema a uno u otro atractor¹⁸.

En el contexto de cohortes en la investigación científica, el anterior análisis dinámico puede ser aplicado a la retroalimentación positiva que se da entre logros y acceso a facilidades de investigación que incrementen las posibilidades de continuar alcanzando éxitos. David sugiere que las oportunidades de ir adquiriendo experiencia y reputación en la investigación se fundamentan críticamente de la adquisición temprana de un prestigio. Pero en esta adquisición temprana de prestigio la suerte puede entrar como un elemento decisivo: algunos individuos pueden ganar una ventaja acumulativa que no es proporcional a sus habilidades iniciales e inherentes. Asimismo, el reconocimiento de un investigador puede verse influenciado por el "pedigree" o proveniencia que tengan (de que universidad egresaron, quien los entrenó, quien les asesoró su tesis doctoral, con quien trabajaron, etc.). De esta forma, a un investigador que "perdió" en las primeras rondas le será cada vez más difícil, si no es que imposible, probar a la comunidad científica que el era tan bueno que la persona que se ha convertido en una "superestrella" de la investigación.

4.4 Distribución de recursos entre investigadores y proyectos científicos

4.4.1 Distribución de recursos entre investigadores

En el contexto de la discusión de la sección 4.3, Cowan (1991) propone un modelo de teoría de juegos para analizar el comportamiento óptimo de una agencia gubernamental en cuanto a su apoyo a investigadores. Cowan utiliza un juego repetitivo en el que una agencia gubernamental (por ejemplo la National Science Foundation) tiene el papel de jugador "optimizador" y los diversos investigadores son como los brazos de una máquina "tragamonedas" de un casino de juego. Los aspectos relevantes del modelo de Cowan son:

- El "jugador" (o agencia gubernamental) no tiene información completa con respecto a las probabilidades de éxito (o pagos) que caracterizan en principio a la máquina tragamonedas.
- Las decisiones de que brazo jugar (esto es, de a cual investigador apoyar) son hechas secuencialmente, en base a los resultados observados previamente.
- Los resultados de los esfuerzos de un investigador en cada etapa del juego repetitivo dependen en parte de la suerte, pero su probabilidad de éxito crece a medida que recibe la oportunidad de adquirir experiencia.

Un teorema del modelo de Cowan concluye que la estrategia óptima *ex ante* de la agencia gubernamental será apostar entre competidores alternativos por un

¹⁸ Ver, por ejemplo, Kamien y Schwartz (1991)

cierto número de rondas, hasta escoger a aquel investigador que se revele con las mejores oportunidades calculables de éxito futuro. En este instante una "estrella" habrá nacido y la agencia gubernamental concentrará su apoyo en tal estrella.

Sin embargo, David (1992) alerta (basándose en los argumentos expuestos en la sección 4.3) que la implementación de esta última estrategia puede llevar a la agencia gubernamental a hacer "estrellas" de investigadores relativamente no talentosos, y a condenar al olvido a otros de mayor potencialidad. La razón es que un individuo con fortuna en las primeras etapas de su carrera ¹⁹ puede lograr seguir recibiendo apoyo, lo que lo llevará incrementar sucesivamente sus capacidades de investigación. No obstante, David considera que esas capacidades pudieron haber sido desarrolladas mejor por aquellos individuos (con talento) que fueron desplazados por la mala suerte al inicio de sus carreras de investigación.

Por otra parte, David (1994) también aborda un problema de elección que debe ser considerado por la agencia gubernamental que distribuye recursos entre investigadores. Tal problema es el de la competencia que otros mercados (como el de la industria o el sector público) representan para el mantenimiento de una base adecuada de investigadores en la academia.

Los investigadores académicos, al igual que la agencia gubernamental, tienen que tomar decisiones respecto a hacer más esfuerzos o a cejar en buscar erigir una reputación en publicaciones y seguir gastando tiempo en escribir propuestas para apoyo financiero. Asimismo, ellos también actúan bajo incertidumbre mientras forman sus expectativas con respecto a sus perspectivas futuras de éxito en la academia. En base a las percepciones continuamente revisadas y los beneficios anticipados de seguir un desarrollo profesional alternativo, los académicos tendrán que tomar la decisión de perseverar o no en la competencia por alcanzar el reconocimiento para sus esfuerzos de investigación.

Típicamente, los recientes graduados de programas doctorales tienen un incentivo para entrar a la academia inicialmente, y permanecer en ésta por un tiempo para dar "señales" de sus habilidades (a través de sus publicaciones) a sus potenciales empleadores futuros. También, tal "señalización" es compatible con preservar abierta la opción de seguir una carrera académica. Por otra parte, aquellos que ingresan a la ciencia con el único propósito de señalar su capacidad, no desearán permanecer ahí demasiado tiempo puesto que esto podría verse como un deterioro en la actualidad de sus conocimientos.

En este contexto, la agencia gubernamental encargada de mantener la infraestructura científica debe evitar que los incentivos materiales para permanecer en la ciencia se deterioren al grado de que la carrera científica no sea positiva ni

¹⁹ Fortuna que puede provenir de que su artículo haya sido publicado en el momento adecuado, o de que la audiencia de su artículo había sido ya predispuesta, o de que algún evento coyuntural pudo haber hecho que su contribución fuera considerada exageradamente importante para la resolución de problemas reales.

siquiera como señaladora de capacidades. En caso contrario, una disminución del flujo de talento en la ciencia llevará a una disminución de la rentabilidad de la inversión de las firmas en I&D, lo que reducirá la demanda a futuro de científicos y la motivación por embarcarse en la profesión científica. De esta forma, las complementariedades negativas entre los sectores científico e industrial puede resultar en una espiral descendente en la que cada vez se invierte menos en la producción de nuevo conocimiento.

4.4.2 Distribución de recursos entre proyectos científicos

La incertidumbre existente en los proyectos científicos lleva a pensar que, en términos de bienestar social, es preferible apoyar proyectos "paralelos" dentro de una determinada área. De esta manera, no es necesariamente un desperdicio la existencia de diversos proyectos que busquen llegar esencialmente al mismo resultado²⁰.

No obstante, la regla de prioridad y el sistema de remuneración en la ciencia también podrían generar ineficiencias que lleven un grado excesivo de duplicación de esfuerzos de investigación²¹. Una causa de estas ineficiencias es debida a la convencional falla que el mecanismo de mercado tiene de destinar recursos eficientemente en muchas situaciones. En general, la sociedad y el investigador individual se benefician de las actividades científicas de forma distinta. A la sociedad en general no le importa tanto quien llega a la solución de un problema científico y el tiempo preciso en que tal solución se encuentra. Por el contrario, para el investigador individual los tiempos específicos de una investigación son de vital importancia debido a la regla de prioridad. Esta incongruencia entre preferencias sociales e individuales por los productos de la ciencia puede llevar a una mala distribución de los recursos de investigación ya que la competencia entre los investigadores puede llevar a éstos a embarcarse en proyectos demasiado riesgosos y similares. Esto último ocasionaría el desprecio de otros proyectos en donde la entrada de algunos pocos investigadores podría ser socialmente benéfico.

Otro elemento a tomarse en cuenta para la distribución de recursos para proyectos científicos es la incongruencia entre las conveniencias sociales e individuales para la secuenciabilidad de tales proyectos. Para la sociedad es preferible, en cuanto a costo, que los subproyectos de un programa de investigación sigan una secuencia debido a las derramas (*spillovers*) que se den de un subproyecto al siguiente. Sin embargo, desde el punto de vista individual existen motivaciones para alcanzar cuanto antes la prioridad de un descubrimiento lo que complica la secuenciabilidad.

²⁰ Lamb y Easton (1984) argumentan que el proceso evolutivo del conocimiento científico se caracteriza por el fenómeno del "múltiple descubrimiento".

²¹ Dasgupta y Maskin (1987) abordan las circunstancias bajo las cuales la regla de prioridad estimula (o no) un paralelismo socialmente riesgoso entre equipos de investigación rivales.

Dasgupta (1988) explica el problema de secuenciabilidad desde el punto de vista de los investigadores individuales con un "juego de espera". Para un investigador x podría ser óptimo diferir la iniciación de su proyecto si otro investigador y empieza su proyecto ahora. Asimismo, podría ser que a y le convenga iniciar su proyecto ahora si x decide posponer el comienzo de su investigación. En tal caso la secuencia " x después de y " es congruente con las expectativas individuales. Por el contrario, pueden existir situaciones en las que la secuencia " y después de x " sea óptima en función de los incentivos individuales.

Desde el punto de vista del investigador individual, los problemas para secuenciar los proyectos de investigación se deben principalmente a la estructura de pagos generada por la regla de prioridad (en donde el ganador de la carrera de investigación se lleva todo). Esta estructura lleva a los investigadores a interesarse en programas de investigación que los lleven al éxito lo mas pronto posible. Esto implica que los investigadores no solo se preocupan por la media y la varianza de la distribución de los tiempos de terminación de sus proyectos, sino también por los tiempos esperados mínimos de terminación.

En una muestra de un determinado tamaño, tomada de una distribución de probabilidad unimodal y continua, el valor esperado mínimo (máximo) será menor (mayor) donde el valor de la varianza de la distribución sea mas grande²². Por tanto, el sistema de remuneración de los investigadores (que estimula a éstos a trabajar aceleradamente para publicar sus resultados) los lleva a paradójicamente a trabajar en los proyectos mas impredecibles (en cuanto a su tiempo de terminación) y, por tanto, menos "secuenciables" entre la clase de los proyectos disponibles.

Ahora bien, por encima de los preferencias privadas está el bienestar social que se genere de la correcta coordinación de las actividades de los investigadores. Además, la agencia gubernamental que provee los fondos de investigación debe hacer compromisos creíbles, ya que una considerable incertidumbre acerca del financiamiento de investigaciones futuras podría llevar a los investigadores a desarrollar sus proyectos sin tomar en cuenta ninguna secuenciabilidad. Esto evidentemente podría generar resultados ineficientes desde el punto de vista social.

5. Comentarios finales

Este trabajo exploró algunos temas relevantes de la economía de la ciencia. El fin ha sido introducir al lector al tema pero, por supuesto, no se agotaron todos los tópicos y enfoques. Como lo demuestra la reseña, la economía de la ciencia es una disciplina incipiente cuyos principales desarrollos analíticos se reducen a propuestas de

²² Para distribuciones de probabilidad unimodales y continuas, una prueba de que el valor extremo esperado de una muestra de tamaño n es una función positiva y cóncava de n puede encontrarse en David (1974).

modelación o modelos incipientes que, sin embargo, provocan a la reflexión sobre su posible aplicación a situaciones reales. En esta sección de conclusiones se lleva a cabo este ejercicio a través de analizar algunas de las implicaciones de los temas analizados para la política científica e, implícitamente, se sugieren líneas de investigación.

5.1 Mapeos homotópicos

Las propuestas de David, Mowery y Steinmuller (1992) -- con respecto a las homotopías de vínculos entre investigación básica y aplicada entre diferentes áreas de la ciencia -- aportan ideas para racionalizar el uso de recursos escasos para apoyar el desarrollo científico. El descubrimiento de estas homotopías permitiría incrementar las economías de escala y de alcance asociadas con concentrar recursos en una sola investigación. El vínculo entre ciencia básica y aplicada descubierto para una cierta área científica podría ser utilizado para obtener resultados en otras áreas.

Por lo tanto, la política científica de un país con pocos recursos para I&D debería acompañar la expansión de un gasto en ciencia básica de otras estrategias que busquen tanto aprovechar las homotopías ya descubiertas como invertir en la búsqueda de nuevas homotopías.

5.2 Modelo principal-agente

Por otro lado, la aplicación del Modelo Canónico de Regulación a la economía de la ciencia promete mucho y permite abordar problemas centrales de la política científica. Por tal razón, en esta reseña se dedicó una parte importante del texto al análisis del uso del modelo principal-agente para explicar la problemática de la relación entre las agencias públicas y los investigadores.

El Modelo Canónico de Regulación aplica el esquema principal-agente a la relación regulador-firma. El problema que enfrenta el regulador (el principal) es:

$$\text{Max} \int_{\underline{\beta}}^{\bar{\beta}} \{S(0, s, q) - R(q) - (1 + \lambda)\hat{t} + EU\} dF(\beta)$$

sujeto a

$$\dot{U} = \psi(e) \frac{C_{\beta}}{C_e}$$

$$U(\beta) \geq 0, \beta \in [\underline{\beta}, \bar{\beta}]$$

donde

$S(\theta, s, q)$: utilidad de los consumidores en función de la producción q ;

$R(q)$: ingreso de la firma por la venta de su producción q ;

$EU = \hat{t} + R(q) - C(\beta, e, q) - \psi(e, s)$: valor esperado de la utilidad de la firma;

$\psi(\bullet)$: función de desutilidad del esfuerzo;

\hat{t} : transferencias del regulador a la firma;

λ : costo social de los fondos públicos debido a una política fiscal distorsionadora;

q : vector de los n productos q_1, q_2, \dots, q_n producidos por la firma;

β : parámetro de selección adversa;

e : parámetro de riesgo moral (típicamente esfuerzo);

θ : información privada de la firma o de los consumidores;

s : nivel de esfuerzo de la firma o de los consumidores;

$F(\beta)$: función de distribución de β en el intervalo $[\underline{\beta}, \bar{\beta}]$.

En palabras, lo que el regulador busca es maximizar el bienestar social -- medido como la suma de la utilidad de los consumidores y el valor esperado de la utilidad de la firma (el agente) -- sujeto a restricciones de incentivos a la eficiencia (primera restricción) y de racionalidad individual de la firma (segunda restricción).

La maximización se efectúa sobre el intervalo $[\underline{\beta}, \bar{\beta}]$ de posibles niveles de eficiencia de la firma. El nivel real de eficiencia de la firma es una información privada de ésta. La variable instrumental del problema de control óptimo es el nivel de esfuerzo e .

Uno de los resultados más interesantes del Modelo Canónico establece que la regulación óptima consiste en un mecanismo de contratos (entendidos como parejas de transferencias y costos) mediante el cual las empresas se autoseleccionan revelando su nivel real de eficiencia β .

El esquema de un regulador que, bajo información incompleta, busca maximizar el bienestar social al tiempo que provee incentivos a la eficiencia del agente es isomorfo a la relación entre un Consejo de Ciencia y Tecnología (el

agente es isomorfo a la relación entre un Consejo de Ciencia y Tecnología (el principal) y los investigadores (los agentes). Usualmente, estos últimos operan en mercados imperfectos, de información incompleta y en los que las funciones de oferta y demanda no están muy bien definidas. En este contexto, el uso de contratos que incentiven eficiencia por parte del Consejo podría implicar alcanzar niveles óptimos de: i) esfuerzo y rentas de los investigadores, ii) bienestar social y iii) aprovechamiento de los fondos públicos destinados a apoyar el desarrollo científico.

Asimismo, la aplicación del *principio de revelación* a la relación Consejo-investigadores podría arrojar resultados interesantes. Este principio establece que cualquier esquema regulatorio óptimo es equivalente a un mecanismo de transferencias y costos (contratos) que induce la revelación del nivel verdadero de eficiencia de las empresas²³. Una consecuencia de este principio es que no existe necesidad de que la agencia reguladora practique medidas "policiales" y efectúe inspecciones minuciosas de los estados contables y financieros de la empresa para conocer dicho nivel. Si el regulador utiliza un esquema adecuado de regulación, la empresa tendrá incentivos a revelar su parámetro de eficiencia al seleccionar una determinada pareja de costos y transferencias.

Una aplicación interesante del principio de revelación sería a la evaluación del desempeño de los científicos. La definición de un mecanismo óptimo de evaluación y remuneración, que incentive a los investigadores a trabajar conforme a sus capacidades reales, no debe implicar costos muy altos de "inspección" para el Consejo. Por lo tanto, sistemas que implican una revisión demasiado minuciosa de las actividades y avances de los investigadores (tales como los basados en "puntos" de desempeño) podrían estar en contra del principio de revelación.

Sin embargo, como se mencionó en la sección 4 de esta reseña, la aplicación del Modelo Canónico de Regulación no es inmediata debido a que el producto de los investigadores no es un bien económico típico y a que la regulación no la lleva solamente el Consejo sino que los agentes también ejercen ciertas actividades auto-regulatorias. Asimismo, la aplicación de dicho modelo requiere la solución de diversas cuestiones tales como:

- *Especificación de la función de costos $c(\beta, e, q)$ del investigador* : Una forma posible de interpretar el parámetro β de selección adversa es como información privada del investigador respecto a variables exógenas relativas a su propia capacidad o eficiencia (por ejemplo: la calidad de su preparación académica, el conocimiento del investigador sobre los avances analíticos que se dan en su área de especialización, las derramas (o *spillovers*) que el investigador aprovecha al asistir a conferencias internacionales, etc.). La variable e de riesgo moral representaría todas aquellas acciones del investigador que no son observables al Consejo. Típicamente, e representaría el nivel de esfuerzo.

²³ Laffont (1994) pág. 314.

- *Definición de la restricción de incentivos* : En el Modelo Canónico de Regulación, esta restricción desincentiva a la empresa a manipular la información privada de su nivel real de eficiencia β y, por tanto, evita la distorsión de los niveles de esfuerzo. Esto se logra a través de permitir mayores rentas a las empresas más eficientes. En el contexto de la relación Consejo-investigadores, la restricción de incentivos permitiría mayores salarios, bonos y premios entre mayor fuera el nivel de eficiencia del investigador. De esta forma, existirían incentivos para que los investigadores revelen su nivel real de eficiencia, se desempeñen de acuerdo a tal nivel y optimicen sus niveles de esfuerzo.
- *Definición de la restricción de racionalidad individual* : Esta restricción establece una cota mínima a la renta que debe obtener una empresa por participar en el contrato regulatorio. Para el caso de los investigadores, el nivel de utilidad de reserva sería una función de los salarios de mercados alternativos al académico (sector público, empresas privadas, etc.) y del valor que el investigador da a la carrera académica.

5.3 Regla de la prioridad

Como se estudió en la sección 4.2, la regla de la prioridad es la base del sistema de remuneración de los científicos y depende de los objetivos que los colegas científicos definan como valiosos. La definición de estos objetivos parece ser mucho más objetiva para las ciencias exactas que para algunas ciencias sociales. En estas últimas, puede existir un desacuerdo entre los investigadores con respecto a la definición de la línea principal (o *mainstream*) del desarrollo científico. En un contexto internacional, seguir al *mainstream* en algunas ciencias sociales podría representar para muchos científicos tener que trabajar líneas de investigación no relacionadas con realidades específicas de sus países.

Por lo tanto, basar la remuneración, el reconocimiento y, por tanto, el sustento de una carrera científica exclusivamente en el *mainstream* implica obligar a los investigadores de un cierto país a publicar en revistas que sigan dicha línea principal. En algunos casos, esto podría arrojar resultados no eficientes en cuanto a bienestar social ya que se orientaría el desarrollo científico hacia temas sin aplicabilidad a la solución de problemas relevantes nacionales. Esto último no parece muy coherente para países que cuentan con recursos escasos para el apoyo de la I&D. Parecería más adecuado que, para algunas ciencias sociales, cada país definiera un *mainstream* propio en base a las tendencias del desarrollo científico internacional y de las demandas propias de la realidad nacional.

5.4 Concentración de la productividad científica

En la sección 4.3 se analizó la propuesta de David (1992) para explicar la concentración de la productividad científica. De acuerdo a esta propuesta, la forma en que las pequeñas diferencias iniciales entre investigadores se magnifican a través del tiempo responde a un proceso dinámico de ventajas acumulativas. Esto es, un modelo dinámico de control óptimo puede ser adecuado para explicar el proceso intertemporal que genera una distribución sesgada en la producción científica.

Sin embargo, un programa dinámico estándar difícilmente podría modelar: a) el origen de las diferencias iniciales entre investigadores (que, como vimos, depende de los antecedentes académicos y laborales), b) las posibles interacciones "negativas" entre el investigador y su medio ambiente remunerativo, y c) los factores fortuitos que originan la eliminación de un investigador en las primeras rondas de la competencia por adquirir reconocimiento académico (factores que incluyen aspectos coyunturales relacionados con el proyecto del investigador).

Como David sugiere, la concentración de la productividad científica señala una ineficiencia originada por la regla de la prioridad en la remuneración de científicos. Eliminar de la carrera académica a investigadores talentosos debido a factores subjetivos o fortuitos no parece ser muy eficiente en países que cuentan con pocos recursos para la investigación y en los que usualmente existe una demanda por capital humano calificado de otros sectores (públicos y privados) con atractivas remuneraciones económicas.

Por lo tanto, no parece adecuado intentar desarrollar una infraestructura científica mediante un proceso de selección subjetivo de investigadores académicos y un sistema de remuneración basado en la definición de un *mainstream* ajeno a cualquier problemática real. Esto es mas evidente en el caso de sistemas científicos caracterizados por:

- Un nivel inicial incipiente de desarrollo científico,
- Pocos recursos destinados a la I&D como proporción del Producto Interno Bruto,
- y
- Competencia de otros sectores que ofrecen altos salarios a la mano de obra calificada.

5.5 Distribución de recursos

En este contexto, las decisiones de política pública respecto a la distribución del financiamiento a investigadores deberían tomar en cuenta las distorsiones creadas por un sistema de remuneración basado en la regla de la prioridad. Esto implica que se deberían tener en cuenta las diferentes características de los proyectos de investigación de científicos que comienzan sus carreras. Los proyectos de

investigadores igualmente talentosos y preparados pueden tener distintos tiempos de maduración y requerir de distintos esfuerzos y recursos

En todo caso, la evaluación de los investigadores debería basarse en criterios objetivos, transparentes y que respondan tanto a referencias de calidad internacionalmente aceptadas como de utilidad para la solución de problemas reales. Esto no significa que se deba abandonar el apoyo a científicos que sustenten una importante infraestructura de ciencia básica estrictamente apegada al *mainstream* internacional y sin aplicaciones previsibles en el corto plazo. Sin embargo, sí significa que la evaluación de los científicos no solo debe basarse en el éxito que hayan tenido al publicar en revistas que sigan el *mainstream* sino también en su creatividad independiente inspirada por problemáticas específicas nacionales.

Asimismo, sería importante que la agencia gubernamental encargada de la política científica provea los incentivos a los investigadores para que éstos no solo perciban a la carrera académica como un trampolín para saltar a otros mercados mejor remunerados y con mejores perspectivas de desarrollo. Como se vio en 4.4.1, cuando la carrera científica está desprestigiada -- y no adecuadamente remunerada -- puede originarse una espiral "perversa" en la que la disminución de oferta de talento en la ciencia implique una disminución de la rentabilidad del gasto privado en I&D. Esto último, a su vez, disminuye la demanda por científicos y por tanto los incentivos para seguir una carrera científica.

En la sección 4.4.2, se explicó como la regla de la prioridad también crea ineficiencias en la distribución de recursos entre proyectos científicos. Esto es debido a que esta regla crea incentivos individuales que no siempre son acordes con los objetivos sociales. Los proyectos científicos paralelos, no secuenciables y de alto riesgo tienen sentido desde un punto de vista individual. Sin embargo, el impacto del desarrollo científico sobre el bienestar social se incrementaría si algunos investigadores *mainstream oriented* enfocaran sus esfuerzos hacia proyectos secuenciables en los que el incremento del bienestar social es mucho mayor al costo social.

La teoría de la regulación sugiere que una solución que iguale costos y beneficios marginales sociales debe provenir de una política adecuada de remuneración a los científicos. Esta política debe propiciar la eficiencia distributiva y productiva a través de crear incentivos individuales que coincidan con los objetivos sociales. La forma específica de tal política, al menos desde el punto teórico, puede ser el resultado de una correcta aplicación de la teoría principal-agente a la economía de la ciencia.

Bibliografía

- Allison, Paul D. and John A. Stewart: "Productivity Differences Among Scientists: Evidence for Accumulative Advantage," *American Sociological Review*, 39, August, 1974.
- Allison, Paul D., J. Scott Long and Tad K. Krauze: "Cumulative Advantage and Inequality in Science," *American Sociological Review*, 47, October, 1982.
- Andrews, F.M., (ed.): *Scientific Productivity: The Effectiveness of Research Groups in Size Countries*, Cambridge University Press, Cambridge, 1979.
- Arrow, K.J.: "Economic Welfare and the Allocation of Resources for Inventions", in R.R. Nelson ed.: *The Rate and Direction of Inventive Activity: Economic and Social Factors*, Princeton University Press, Princeton, 1962.
- Arrow, K.J. and W.M. Capron: "Dynamic Shortages and Price Rises: The Engineer-Scientist Case", *Quarterly Journal of Economics*, 73, 1959, pp. 292.
- Blank, D.M. and G.J. Stigler: "The Demand and Supply of Scientific Personnel", *National Bureau of Economic Research*, New York, 1957.
- Cole, J. R. and H. Zuckerman: "The Productivity Puzzle: Persistence and Change in Patterns of Publication of Men and Women Scientists," in *Advances in Motivation and Achievement*, 1984, Vol. 2.
- Cole, J. R. and Stephen Cole: "Social Stratification in Science", The University of Chicago Press, Chicago, 1973.
- Cowan, Robin, "Tortoises and Hares: Choice Among Technologies of Unknown Merit," *Economic Journal*, 101, July, 1991.
- Dasgupta, P.: "Patents, Priority and Imitation, or, The Economics of Races and Waiting Games," *Economic Journal*, 98, 1988.
- Dasgupta, P. and E. Maskin: "The Simple Economics of Research Portfolios," *Economic Journal*, 97, 1987.
- Dasgupta, P. and Heal: "Economic Theory and Exhaustible Resources", Cambridge University Press, Cambridge, 1979.
- Dasgupta, P. and P.A. David: "Information Disclosure and the Economics of Science and Technology," in G. Feiwel ed.: *Arrow and the Ascent of Modern Economic Theory*, New York University Press, New York, 1987.
- Dasgupta, P. and P.A. David: "Priority, Secrecy, Patents and the Economic Organization of Science and Technology," Center for Economic Research, publication No. 127, Stanford University, March, 1988.
- Dasgupta, P. and P.A. David: "Toward a new Economics of Science", MERIT, Working Paper No. 94-003, 1994.
- David, P. A.: "Positive Feedbacks and Research Productivity in Science: Reopening Another Black Box", MERIT, Working Paper No. 93-017, 1993.
- David, P.A.: "Risk, Fortune and the Microeconomics of Migration", in P.A. David and M.W. Reder, eds.: *Nations and Households in Economic Growth*, Academic Press, New York, 1974.

- David, P.A., Mowery, D., and Steinmueller, E. W.: "Analysing the Economic Payoffs from Basic Research", *Economics of Innovation and New Technology* 2, United Kingdom, 1992.
- Feller, W.: "An Introduction to Probability Theory and its Applications", 3rd Edition, John Wiley & Sons, New York, 1968.
- Gaston, J.: "The Reward System in British and American Science, Wiley and Sons, New York, 1978.
- Griliches, Z.: "Hybrid Corn: An Exploration in the Economics of Technological Change", *Econometrica*, 25, 1957.
- Griliches, Z.: "Hybrid Corn and the Economics of Innovation," *Science*, 29, July, 1960.
- Griliches, Z.: "Productivity, R&D and Basic Research at the Firm Level in the 1970's", *American Economic Review*, 1986.
- Gunderson, L.C. and D.B. Keck: "Optical Fibers: Where Light Outperforms Electrons" in T. Forrester ed.: *The Materials Revolution*, The MIT Press, Cambridge, 1988.
- Jaffe A. B.: "Technological Opportunity and Spillovers of R&D: Evidence from Firms' Patents, Profits, and Market Value", *American Economic Review*, Vol. 76, No. 5, 1986.
- Jaffe A. B.: "Real Effects of Academic Research", *American Economic Review*, Vol. 79, No. 5, 1989.
- Jaffe, A.B.: Trajtenberg, M. y Henderson, R. (1993): "Geographic, Localization of Knowledge Spillovers as Evidenced by Patent Citations", *Quarterly Journal of Economics*, August, 1989.
- Kamien, M. I. and Schwartz, N.L.: *Dynamic Optimization: The Calculus of Variations and Optimal Control in Economics and Management*, 2nd Edition, Amsterdam: North Holland, Part II, 1991.
- Laffont, J., and J. Tirole: "A Theory of Incentives in Procurement and Regulation," The MIT Press Cambridge, MA, 1993.
- Laffont, J.: "The New Economics of Regulation Ten Years After", *Econometrica*, May, 1994
- Lamb, D, and S.M. Easton: "Multiple Discovery: The Pattern of Scientific Progress", Trowbridge, Wilts.: Avery Publishing Co., 1984.
- Lederman, L.M.: "Fiscal Year 1985 Department of Energy Authorization (High Energy and Nuclear Physics)", *Testimony before the Subcommittee on Energy Development and Applications of the Committee on Science and Technology, House of Representatives*, Ninety-Eight Congress, Second Session, Washington, February 22, 1985.
- Link, A. N.: "Basic Research and Productivity Increase in Manufacturing: Some Additional Evidence," *American Economic Review*, 1981.
- Lotka, A. J.: "The Frequency Distribution of Scientific Productivity.", *Journal of the Washington Academy of Sciences*, 16, No. 12, 1926.
- Mansfield, E.: "Basic Research and Productivity Increase in Manufacturing: Some Additional Evidence", *American Economic Review*, 1980.
- McCall, J.J. and S.A. Lippman (eds.): "Studies in the Economics of Job Search", North Holland Publishing Company, Amsterdam, 1980.
- Meckling, W.H.: "Predictability of the Costs, Time and Success of Development", in *National Bureau of Economic Research: The Rate and Direction of Inventive Activity*, Princeton: Princeton University Press, 1962.

- Merton, R. K.: "The Mathew Effect in Science," *Science*, 159 (3810), January 5, 1968.
- Mowery, D.C. and N. Rosenberg: *Technology and the Pursuit of Economic Growth*, Cambridge University Press, New York, 1989.
- Munkres, J.R.: *Topology. A First Course*, Prentice Hall, 1975.
- Musgrave, R.A. and A.T. Peacock, eds.: *Classics in the Theory of Public Finance*, MacMillan, London and New York, 1958.
- Nelson R.R.: "The Simple Economics of Basic Scientific Research", *Journal of Political Economy*, 67, 1959.
- Norris, K.P.: "The Accuracy of Project Cost and Duration Estimates in Industrial R&D", *R&D Management*, 2(1), 1971, pp. 25-36.
- Price, D. J.: "A General Theory of Bibliometric and Other Cumulative Advantage Processes," *Journal of the American Society for Information Science*, 27, Nos. 5/6., 1976.
- Price, D.J.: "Little Science, Big Science", Columbia University Press, New York, 1963.
- Rosenberg, N. : "Why do Firms do Basic Research (with their own money)?" *Research Policy* 19, 1990.
- Teece, D.J.: "Profiting from Technological Innovation: Implications for Integration, Collaboration, Licensing, and public Policy", *Research Policy*., 1986.
- Trajtenberg, M., Henderson, R. y Jaffe, A.B.: "Ivory Tower versus Corporate Lab: An Empirical Study of Basic Research and Appropriability", NBER Working Paper Series, No. 4146, 1992.
- Van Raan, A.F.J., ed.: *Handbook of Quantitative Studies of Science and Technology*, Amsterdam: North Holland Publishing Co., 1988.
- Williamson, J. G. and P.D. Lindert: *Two Centuries of American Inequality*, Cambridge University Press, New York, 1980.
- Zuckerman, H.: *Scientific Elite: Nobel Laureates in the United States*, The University of Chicago Press, Chicago, 1977.