

Nº 121
Septiembre 1989



Documento de Trabajo

ISSN (edición impresa) **0716-7334**

ISSN (edición electrónica) **0717-7593**

Tópicos en la Economía de la Investigación Tecnológica.

Alexander Galetovic
Ángel Cabrera

1. INTRODUCCION

Fue Paul Samuelson (1973) quien observó que "aún los niños aprenden mientras crecen que "ambos" no es una respuesta adecuada a la pregunta de "cuál de los dos" " (traducción nuestra). Y ya desde hace largo tiempo parece aceptarse la definición de economía propuesta por Robbins que dice que es la ciencia que estudia el comportamiento humano como una relación entre fines ilimitados y medios escasos susceptibles de usos alternativos y excluyentes. Sin embargo, el progreso tecnológico pareciera ser el truco mágico que nos permitiría obviar esta disyuntiva. No cabe duda que es una fuerza fundamental -tal vez la principal- en la evolución de las economías en el tiempo. De hecho, ya Schumpeter (1961) destacó que "obviamente, la faz de la tierra sería muy distinta si acaso la gente..... no hubiese hecho más que multiplicarse y ahorrar" (traducción nuestra); y Solow (1957) encontró con gran sorpresa que el 90% del aumento del producto per cápita en el sector no agrícola norteamericano durante el período 1909-49 se explica por el progreso tecnológico y sólo un 10% por la acumulación de capital. No obstante y a pesar de la copiosa literatura sobre el tema¹, el progreso tecnológico es aún poco comprendido, siendo imposible hablar de una teoría general de la investigación tecnológica.

Este trabajo reúne tres ensayos en la economía de la investigación tecnológica. En el capítulo 2 se discuten de manera tentativa ciertos elementos característicos de la economía de la investigación, y se esboza de manera muy imperfecta -para desarrollar en trabajos posteriores- una teoría general. El capítulo 3 propone un sistema de contratos óptimos para la investigación básica, que pretende abordar ciertos problemas de incentivos.

Finalmente, en el capítulo 4 desarrollamos un modelo formal del mercado de la investigación tecnológica que busca caracterizar la naturaleza de sus fallas.

¹Revisiones bibliográficas extensas se encuentran en Kamien y Schwartz (1982), Baldwin y Scott (1987) y Dosi (1988).

2. **ELEMENTOS PARA EL DISEÑO DE UN MARCO DE ANALISIS GENERAL DE LA INVESTIGACION TECNOLOGICA**

2.1. **Esbozo de un Marco de Análisis General**

Para poder estudiar los problemas de la investigación en su conjunto, se debe desarrollar una estructura analítica que contemple las diferentes etapas y los distintos agentes involucrados en este mercado. Además, dicho marco de análisis debe permitir distinguir entre tipos de investigación que por su naturaleza presenten diferentes problemas económicos. Esta es la tarea a la que nos abocamos en esta sección.

Pensemos las fuentes del problema económico como provenientes de un conjunto P de " n_1 " problemas" ($P = \{p_i, i = 1, \dots, n_1 \text{ es un problema}\}$) que es común a todas las personas², y que incluye cualquier problema o necesidad imaginable. Así, algunos elementos de P pueden ser problemas irrelevantes (i.e. nadie estaría dispuesto a sacrificar recursos para su solución), problemas desconocidos (i. e. se conoce sólo P^k , tal que $P^k \subset P$ y $P^k \cup P^k = P$)³ o imposibles de solucionar. Dentro de este marco supongamos que las personas derivan "utilidad" de la solución de problemas conocidos, que son capaces de jerarquizar dichas soluciones según lo que contribuyen a su utilidad⁴, y que maximizan utilidad, sujetos a restricciones, las que comentaremos más abajo⁵. De esto se desprende que, aún cuando el conjunto de problemas sea común a todas las personas, la ponderación que se le dará a cada uno de ellos puede diferir entre personas.

2

Nótese que esto implica que $P_i = P_j$ ($i, j = 1, 2, \dots, n$; n es el número de personas) y que $\bigcup_{s=1}^n P_s = P_i = P_j = P$.

³ A^c denota al conjunto complemento de A ; luego $A^c \cap A = \phi$ y $A^c \cup A = U$, donde U es el conjunto universo. Además, el supraíndice " k " denotará un conjunto conocido.

⁴ Establecer una jerarquía de preferencias constituye en sí un problema incluido en P .

⁵ P^k no es necesariamente invariante; basta con suponer que si P^k cambia, las personas son capaces de establecer un nuevo ordenamiento de sus preferencias que incluya los nuevos problemas.

2

Al menos una solución a cualquier $p \in P$ está en el conjunto $S = \{s_i, i = 1, \dots, n_2 \text{ es una solución a un } p \in P\}$. Supondremos que cualquier elemento de S podría llegar a ser conocido por cualquier persona, aun cuando $S^k \subset S$ no sea igual entre todas las personas (i.e. $S_i^k \neq S_j^k, i \neq j$, es posible).

Podemos asociar a S con técnicas que indican como transformar recursos provenientes de un conjunto $R^k = \{r_i, i = 1, \dots, n_3 \text{ es un recurso}\}$ en soluciones a problemas⁶. Este conjunto S de técnicas o soluciones se obtiene de C , el conjunto de conocimiento básico⁷ y de S^k , el conjunto de técnicas conocidas. Así, una solución $s \in S$ a un $p \in P$ será una combinación de elementos de C^k . Una vez que conocemos $C^k \subset C$, podemos obtener S^k y S^{kc} , donde S^k está compuesto por combinaciones conocidas de elementos de C^k . Por otro lado, S^{kc} puede separarse en dos subconjuntos: en el primero se encuentran soluciones compuestas solamente por combinaciones actualmente no conocidas de elementos conocidos de C^k . En el segundo encontramos soluciones que requieren de elementos de C^{kc} que al menos en parte no son conocidos y que por lo tanto no pueden ser descubiertos a menos que se amplíe C^k ⁸.

Lo anterior podemos resumirlo brevemente señalando que una sociedad enfrenta un conjunto de "problemas o necesidades", para cuya satisfacción se emplearán diferentes técnicas, las que dan origen a un conjunto de "soluciones" que indican la manera de combinar recursos productivos de forma tal de resolver (al menos parcialmente) un problema determinado. Dicho conjunto de soluciones, será conocido sólo parcialmente en un momento del tiempo determinado, de tal forma que la capacidad de solucionar problemas en cada momento del tiempo estará limitada tanto por la disponibilidad de recursos productivos como por las técnicas conocidas.

Por su parte, cada solución o técnica corresponderá a una combinación particular de conocimientos básicos y de otras técnicas, por lo que la tecnología disponible será el resultado del conocimiento básico de que se dispone en un momento del tiempo determinado. De esta forma, el avance tecnológico puede ser el resultado del descubrimiento de nuevos elementos de conocimiento básico y/o de nuevas combinaciones de los elementos ya disponibles.

⁶El conjunto de recursos también puede contar con elementos desconocidos que deben ser descubiertos (o producidos) para poder ser utilizados.

⁷Por conocimiento básico entenderemos el conjunto de teorías (simplificaciones sistemáticas) que permiten conocer y comprender el funcionamiento de la realidad en sus diferentes aspectos.

⁸Un problema dado puede tener asociado en S distintas soluciones, las que pueden diferir en su eficiencia relativa.

Aplicación del Marco de Análisis al Problema Económico General

La definición más aceptada del llamado "problema económico", señala que éste consiste en la asignación de recursos limitados a la satisfacción de necesidades ilimitadas. Si los individuos buscan maximizar su bienestar (o utilidad), resolverán este problema mediante un proceso de optimización basado en consideraciones costo-beneficio.

En los términos de nuestro marco de referencia, se tiene que las personas derivarán bienestar de la solución de sus múltiples problemas o necesidades, representados por el conjunto P. De esta forma, el nivel de bienestar de un individuo (o una sociedad) dependerá de la cantidad de problemas solucionados. Lo anterior se puede representar de la siguiente forma:

$$(1) \quad U = U(X_h), \quad h = 1, 2, \dots, y$$

en que U representa el nivel bienestar alcanzado en base al consumo de bienes y servicios X_h producidos, que depende del conjunto de soluciones conocidas y del stock de recursos disponibles.

Como se explicó en la sección anterior, cada una de las soluciones particulares (s_j) que forman dicho conjunto de soluciones conocidas representa una forma particular de combinar los factores productivos disponibles a fin de obtener un bien o servicio⁹ (X_j) que solucione un problema determinado. De esta forma, lo que nosotros llamamos "solución particular" se puede identificar con lo que en general se llama "función de producción". Formalmente tendremos:

$$(2) \quad X_h = S_j (r_1^i, \dots, r_{n3}^i); \quad h = 1, \dots, y$$

$$(3) \quad r_g \geq \sum_{i=1}^x r_g^i; \quad g = 1, \dots, n_3$$

La ecuación (2) nos señala que el bien X_j , que soluciona el problema j, se producirá mediante una combinación particular (S_j) de los "n3" factores productivos disponibles. Por su parte, la ecuación (10) nos dice que la suma total de las cantidades usadas de un factor "g", debe ser menor o igual a la dotación total de dicho factor (r_g), para cada uno de los n3 factores existentes.

⁹Los conceptos de bienes y servicios pueden ser restrictivos en relación a nuestro concepto de "problemas".

De las ecuaciones (2) y (3) se desprende también que, el costo de un bien estará dado por las cantidades de factores productivos utilizados en su producción, lo que está determinado por la tecnología utilizada. Por otra parte, el costo alternativo de dichos factores estará determinado por su escasez relativa.

Es así como el problema básico, señalado al comienzo de esta sección, se reduce a la maximización de la función U , sujeto a las restricciones impuestas por (2) y (3). El resultado de dicha optimización determinará cuáles de los " n " problemas existentes serán abordados y cuál será la solución particular dada a cada uno de ellos.

De lo anterior, se podría pensar que el problema estudiado puede abordarse en base a lo que llamaremos la "teoría microeconómica tradicional" (TMT). Sin embargo, tal como mostraremos más adelante, es necesario ir un poco más allá.

Entenderemos por TMT aquella que supone mercados completos e información perfecta a la Arrow-Debreu¹⁰. Dentro de nuestro marco, ésto supone que C^k , S^k y P^k son comunes a todas las personas y que todos los $p \in P^k$ tienen asociado al menos un $s \in S$, y en todo caso, toda solución relativamente menos eficiente no se usa. Así, las diferencias se reducen a los gustos y las dotaciones personales de recursos representados en el par (U_i, R_i^k) , lo que permite la existencia de ganancias del intercambio. El problema de la coordinación lo resuelven los precios y el marco institucional, dado por la competencia perfecta. Se debe notar que en la solución final, el vector de precios de equilibrio transmite toda la información relevante, en otras palabras, los precios y la existencia de mercados, eliminan la necesidad de que previo a un intercambio deba conocerse (U_i, R_i^k) de cada i ¹¹.

En este contexto no se considera la posibilidad de ampliar racionalmente S^k ; cuando esto ocurre, se supone debido a un shock exógeno que no consume recursos. Más aún, un nuevo $s \in S$ es inmediatamente incorporado sin costo al S^k de cada persona. Incidentalmente, de aquí se ha derivado la proposición de que en una economía competitiva no existen incentivos a la investigación, porque cualquier solución nueva será copiada rápidamente, ya que el conocimiento se supone un bien público. Así cualquier ventaja de costos que permita retornos sobrenormales desaparecerá instantáneamente. En resumen, la TMT deriva sus resultados restringiendo la diversidad en los conjuntos de los distintos agentes¹² sólo a sus dotaciones de recursos y a sus funciones de utilidad. El marco institucional supuesto, conjuntamente con la gratuidad

¹⁰Véase Debreu (1959), Arrow y Hahn (1971) y Arrow y Debreu (1954).

¹¹Los precios son algo así como un estadístico suficiente de cada (U_i, R_i^k) .

¹²Nótese que el suponer que $S_i^k = S_j^k \forall i, j$ elimina el rol primordial de los precios, como coordinadores el uso del conocimiento en la sociedad disperso entre los agentes (Hayek, 1945).

de operarlo, permiten que los precios transmitan eficientemente toda la información relevante¹³.

Eventualmente, los resultados a los que se llega mediante la asignación descentralizada de recursos no son pareto-óptimos. Las fallas tradicionales se reconocen en la existencia de externalidades y de bienes públicos y surgen cuando la definición de los derechos de propiedad es imperfecta, y/o no existen mercados para ciertos bienes¹⁴. Estas "fallas" llevan a que los precios de mercado no transmitan toda la información disponible y por lo tanto, no se agoten todas las ganancias de intercambio. En el extremo puede darse que no existan mercados ni precios¹⁵.

La Investigación en el Marco de Análisis General

Una vez planteado el marco anterior parece claro que la exploración de las partes desconocidas de C y de S puede ser en sí un problema que demanda el uso de recursos cuya solución se encuentra en S.

Si la ampliación de C^k y S^k no depende sólo del azar, sino también de la acción deliberada de las personas, podemos pensar que el progreso tecnológico y el aumento del conocimiento será en parte el resultado de un proceso de asignación racional de recursos sujeto a restricciones tecnológicas, de conocimiento y de recursos¹⁶. Luego, bajo determinadas circunstancias será racional destinar recursos a la exploración de C^{kc} y S^{kc} .

De esta forma, podemos definir INVESTIGACION como el proceso que lleva a la ampliación del stock de conocimiento disponible (incorporación de nuevos elementos a los conjuntos S^k y/o C^k), siendo posible distinguir entre INVESTIGACION BASICA, que correspondería a la adquisición de nuevos conocimientos que no tienen una aplicación directa a la solución de problemas¹⁷ (incorporación de nuevos elementos al conjunto C^k), pero que sin embargo podrían llegar a tenerla mediante su combinación con el conocimiento previamente existente; e INVESTIGACION APLICADA, que correspondería a la búsqueda de nuevos conocimientos que tengan una aplicación directa a la solución de problemas (incorporación de nuevos elementos al conjunto S^k).

¹³Nótese que el marco institucional y los precios son bienes públicos. Como se supone que además son bienes libres, no hay subprovisión de los mismos.

¹⁴Los impuestos no neutrales también suelen llevar a asignaciones ineficientes, pero no son fallas del mercado propiamente tal.

¹⁵Una vez que esto se reconoce, es interesante notar que podrían existir incentivos a buscar $s \in S$ que den solución a estas fallas (por ejemplo, un sistema legal que defina los derechos de propiedad).

¹⁶No puede desconocerse sin embargo que la ampliación de S^k y C^k puede resultar involuntaria e incluso sin la inversión significativa de recursos. Es el caso de descubrimientos casuales u originados como externalidades de otras innovaciones. Véase la discusión en la sección siguiente.

¹⁷Excepto al problema de conocer más acerca de la realidad.

Esta distinción, como veremos más adelante, resulta fundamental desde el punto de vista de los problemas económicos que se presentan en cada caso. El origen de dichos problemas se encuentra en el hecho de que, en todo proceso de búsqueda sistemática de nuevos conocimientos se deberán utilizar recursos productivos con usos alternativos¹⁸. Esto puede ser puesto en los términos de nuestro marco analítico, pensando que un tipo particular de problemas (que son elementos del conjunto P) consiste en el deseo de adquirir nuevos conocimientos, de tal forma que algunos de los productos (definidos por la ecuación (2)) que se obtienen mediante la combinación de factores productivos pueden ser nuevas unidades de conocimiento y/o combinaciones de conocimientos. En el proceso de asignación de recursos a esta actividad se pueden presentar múltiples inconvenientes, los que constituyen el tema de la siguiente sección.

2.2. *La Economía de la Investigación Tecnológica*

En este capítulo estudiaremos una serie de situaciones en las que la asignación de recursos en el mercado de la investigación no sería la óptima desde el punto de vista de la sociedad. Dichas situaciones serían el resultado de discrepancias entre los beneficios privados y sociales de una investigación particular, de tal forma que el monto de recursos destinados y/o la rapidez con la que es llevada a cabo por el sector privado actuando en forma espontánea, no es óptima; y de las particulares características de la información con que cuenta quien conduce investigación.

Lo descrito en el capítulo anterior se puede interpretar como si toda la información relevante estuviera concentrada en las manos de un único agente, el que a su vez es el encargado de tomar todas las decisiones. Dicha situación, a pesar de ser útil para comprender el rol de la investigación dentro del problema económico general de una sociedad, deja de lado una serie de elementos de la realidad pertinente en el estudio de los problemas que abordaremos más adelante. Así, debemos considerar que el conocimiento se encuentra disperso entre los miembros de la sociedad y que su distribución no es homogénea. En otras palabras, cada agente individual posee sólo un subconjunto del conjunto total de conocimiento disponible (dado por los conjuntos C^k y S^k), el que resulta de la unión de cada uno de dichos subconjuntos. Y aunque el conocimiento de cada agente no tiene por qué ser idéntico al de los demás, tampoco debe ser completamente diferente.

Esto llama la atención sobre dos puntos. Primero, si suponemos que existen muchos agentes podemos visualizar el proceso económico como el resultado de su interacción. En un momento del tiempo cada uno de ellos está dotado con un quintuple $\{C_i^k, S_i^k, R_i^k, P_i^k, U_i\}$, donde U_i es una función de utilidad que refleja sus preferencias, y que le permite ranquear "canastas" de soluciones a problemas conocidos. La especialización permite lograr ganancias porque se explotan de mejor forma las

¹⁸Este no sería el caso de aquellos descubrimientos que son producto del azar.

diferencias interpersonales de conocimientos (S_i^k, C_i^k) recursos (R_i^k) y gustos (P_i^k, U_i). Por ejemplo, R_j^k puede ser más adecuado para solucionar $p \in P_i^k$ (dado U_i) y viceversa. Pero la interacción genera nuevos problemas: primero, la coordinación y traslado de información entre las personas; segundo, amplía el P^k de cada persona y afecta sus R^k , lo que hace variar las restricciones enfrentadas por cada una de ellas y, por lo tanto, los incentivos. De esta forma, la interacción altera los resultados que pueden obtenerse con determinados sacrificios de recursos, lo que a su vez altera el comportamiento (racional) de las personas.

Segundo, porque se explora lo "desconocido", los efectos externos involuntarios o no esperados¹⁹ que puede tener el proceso de la investigación son importantes. Por ejemplo, el descubrimiento de un nuevo subconjunto de C permite una gran cantidad de nuevas combinaciones que, aunque ex-ante pueden ser difíciles de preveer, pueden ex-post posibilitar el descubrimiento de nuevos $\in S$. Asimismo, la búsqueda de nuevas soluciones a un problema determinado puede llevar a descubrir inesperadamente soluciones a otros problemas.

Adicionalmente debemos considerar que la exploración de S^{kc} y C^{kc} es una exploración de lo desconocido, lo que dificulta la elaboración de una teoría de la investigación. En efecto, si en el extremo la ignorancia fuese completa, no sería posible vincular ex-ante el esfuerzo (acciones) con los resultados²⁰. Entonces, el visualizar a la investigación como un proceso racional requiere primero aceptar que en algunos casos la falta de información no es total, por lo que al menos debe existir algún conocimiento, aunque imperfecto, que revele la posibilidad de encontrar nuevas soluciones, mediante acciones determinadas.

Con estas consideraciones en mente podemos comenzar a estudiar algunos de los problemas económicos que se presentan en la generación de nuevos conocimientos.

Monopolio, Tamaño de la Firma y el Problema del Bien Público

Tradicionalmente se ha sostenido que el nuevo conocimiento que se obtiene como fruto de un proceso de investigación, no puede ser retenido en forma exclusiva por quien lo generó, quedando a libre disposición para quien lo desee. Esto es lo que se

¹⁹A los que anteriormente nos referimos como "externalidades" y "bienes públicos"

²⁰La distinción ex-ante ex-post es importante. Por ejemplo, el horno microondas fue descubierto mientras un ingeniero de Raytheon, que investigaba equipos experimentales de radar, constató que un chocolate en el bolsillo de su camisa se había derretido. Por curiosidad probó si las ondas cocinaban popcorn. Eventualmente, Raytheon desarrolló comercialmente el horno de microondas. Evidentemente, ex-ante era imposible vincular las acciones (por ej. comprar el chocolate, ponerlo en el bolsillo de la camisa, etc) con el resultado (descubrimiento del horno microondas), aunque ex-post es posible reconstruir la cadena que llevó a ese descubrimiento. Otros ejemplos muy interesantes pueden encontrarse en Labich (1988).

conoce en economía como un "bien público", el que una vez producido puede ser utilizado libremente por cualquiera, sin que ello limite su uso por parte de los demás.

El problema que se puede presentar en este caso es que, a pesar que desde el punto de vista de la sociedad el beneficio asociado al nuevo conocimiento puede ser mayor que el costo de desarrollo, desde el punto de vista privado se dé la situación inversa, por lo que ningún agente particular tendrá los incentivos necesarios para llevar a cabo la investigación. Esta asimetría es el resultado de que, al no ser posible la exclusión en el uso del conocimiento, el beneficio social ligado a él corresponderá a la suma de los beneficios particulares de cada uno de los potenciales usuarios. Por otra parte, puede resultar rentable esperar que otro investigue y luego copiar.

En los argumentos anteriores destacan dos puntos centrales: se debe cumplir que el nuevo conocimiento se difunde con gran rapidez entre todos los potenciales usuarios. Además, también se requiere que el beneficio individual (no necesariamente igual para todos) sea menor en todos los casos al costo de llevar a cabo la investigación. Estas dos condiciones se cumplen en un caso particularmente importante, llamado "competencia perfecta", cuando se trata de investigación aplicada (desarrollo de nuevos procesos productivos que permiten obtener un bien ya producido a un costo menor, o producir un nuevo bien). Esto debido a que en dicha estructura de mercado se tiene información perfecta (instantánea y sin costos) y un número tal de productores, que la competencia entre ellos lleva a la disipación completa de cualquier renta, lo que significa que el beneficio privado de llevar a cabo una investigación será igual a cero.

El trabajo pionero en relación a este problema se debe a Schumpeter (1961, 1964 y 1975), el que señala que la función del empresario sería el crear nuevas combinaciones para satisfacer necesidades insatisfechas o para hacer en forma más eficiente algo que ya se hacía. De esta forma, la actividad empresarial podría o no implicar innovación. Sin embargo, dicha actividad es la que permitiría obtener los frutos de una invención y será rentable en la medida de que la imitación no sea inmediata, de forma que se presentará un conflicto entre la actividad creativa y la competencia perfecta. Así, Schumpeter concluye, que si bien la competencia perfecta asegura la asignación estática óptima de los recursos, podría no lograr una asignación dinámica óptima, debido a que ciertas "fallas" estáticas podrían ser necesarias para incrementar los niveles y/o la rapidez del crecimiento en el largo plazo. Esta discrepancia entre el proceso de optimización estática y la optimización dinámica se debe a que al endogenizarse el proceso de innovaciones tecnológicas, y con ello las funciones de producción, la economía no tiene por qué tender a un estado estacionario de largo plazo. Sin embargo, donde el planteamiento de Schumpeter ha despertado un mayor interés es en lo relativo a las "fallas de corto plazo" que serían necesarias para lograr una mejor asignación intertemporal de los recursos. Dichas fallas deberían ser tales que provean los incentivos necesarios para que el sector privado lleve a cabo los procesos de investigación. En particular, Schumpeter señala que podría ser necesario tolerar un mayor número de situaciones monopólicas, con el fin de incentivar la innovación. Aunque no siempre relacionados con el problema del bien público, los principales argumentos en apoyo a tal afirmación, son los siguientes:

1. Si la imitación no es inmediata (ya sea porque existen costos naturales o artificiales de hacerlo) la renta asociada al poder monopólico transitorio que estará ligado a la innovación, puede ser incentivo suficiente para que ella sea desarrollada.
2. Si una firma tiene poder monopólico en un producto, puede extenderlo, en algunos casos, a los nuevos productos que desarrolle. Esta posibilidad surgiría de la existencia de situaciones tales como una marca con prestigio, canales de distribución ya establecidos, etc.

Además, lo anterior puede verse reforzado si la firma tiene el poder de tomar represalias, introduciendo nuevas innovaciones, ante la imitación. Respecto a estos argumentos se puede consultar Kamien y Schwartz (1972a).

3. Una empresa que ya posee rentas monopólicas y cuyas acciones no exigen una política de dividendos mayores que los normales, dispondrá de mayores fondos (*ceteris paribus*) para autofinanciar proyectos de investigación. Esto le dará ventajas principalmente por dos motivos. En primer lugar, debido a que en general existe una disponibilidad asimétrica de información respecto a la factibilidad de un proyecto, su rentabilidad y el esfuerzo desplegado por el encargado de llevarlo a cabo, entre la persona que lo planifica y un potencial financista externo. De esta forma el auto financiamiento permitirá reducir costos de transacción y con ello incentivará la investigación.

Muy relacionado a lo anterior, se encuentra el argumento de Bhattacharya y Ritter (1979) respecto a que el autofinanciamiento evitará el tener que divulgar información respecto al proyecto que se planifica, lo que podría retardar su divulgación y con ello incrementar los beneficios privados de dicho proyecto.

4. Otro argumento, que también se basa en la supuesta mayor disponibilidad de fondos por parte de una empresa con poder monopólico, señala que dichas firmas tendrán mejores oportunidades de contratar a personas con mayor capacidad creativa (investigadores y empresarios). Sin embargo, este argumento se basa, en última instancia, en una imperfección en el mercado de los servicios de dichas personas, lo que impediría que fuesen remuneradas de acuerdo al valor de su verdadero aporte a la empresa.

Otra línea de argumentos, en algún grado relacionado a la recién expuesta, es la presentada por Galbraith (1952), quien señala que, en general, las empresas de mayor tamaño tendrán ventajas que les permitirán desarrollar un mayor número de proyectos de investigación. Esto se debería, en primer lugar, a que este tipo de proyectos involucra cada vez un mayor monto de recursos, lo que unido a imperfecciones en el mercado de capitales como las señaladas anteriormente, llevaría a que las grandes empresas tengan una mejor opción de llevarlos a cabo. Además, se observarían economías de escala en las actividades de investigación, ya que grupos de investigación más grandes permitirían un mayor intercambio de ideas y una mejor división del trabajo.

Este último argumento puede ser mejor entendido en los términos de nuestro análisis general: debido a que cada persona posee sólo un subconjunto de la información total, al ponerla en contacto con otras que poseen subconjunto distintos de

información (aunque no se requiere que lo sean completamente) las combinaciones posibles de dichos conocimientos se incrementan en forma exponencial. Además, esto permitiría que cada persona del equipo se concentrara en el área de conocimientos en la cual posee ventajas comparativas. Esto permitiría reducir los costos de desarrollo de un proyecto de investigación, pero no necesariamente lo lleva a ser menor que el beneficio privado.

Finalmente, una empresa multiproducto tendrá una mayor capacidad de diversificación de sus proyectos de investigación. Esto puede ser particularmente importante en el caso de proyectos de investigación básica, en que la probabilidad de que el resultado obtenido sea útil en el desarrollo de un producto específico tiende a cero, pero en que la probabilidad de que lo sea en un área de investigación amplia o para un set de productos potenciales, puede ser significativamente mayor.

Por otro lado, puede contraargumentarse tanto a las hipótesis schumpeterianas como a las de Galbraith.

En efecto un supuesto crucial acerca de la naturaleza de la información parece estar detrás del planteamiento tradicional y los corolarios acerca de la eficiencia de la competencia en el corto y largo plazo. En efecto, se supone que una nueva tecnología es inmediatamente disponible sin costo para cualquiera. Así por ejemplo Arrow (1962) asocia tecnología con información que es generalizadamente aplicable y fácilmente reproducible, lo que hace que su difusión y adopción sea instantánea y sin costos. Luego, desde el punto de vista social, resulta "óptimo" que una vez hecho el descubrimiento se difunda totalmente. En este contexto tanto las patentes como el secreto a fin de asegurar ganancias monopólicas no son convenientes, aunque resultan condiciones necesarias para que se investigue.

Aunque parece indudable que en alguna medida la tecnología presenta cierta similitud con lo supuesto por Arrow, sobre todo en el largo plazo, es probable que tal supuesto elimine una parte fundamental del problema bajo estudio. En primer lugar la difusión y la adopción de nueva tecnología generalmente no es un proceso sin costo. Informar al resto de la comunidad de un descubrimiento y encontrar usuarios para nuevos productos no es gratis. Por otro lado, en muchas situaciones usar nuevas tecnologías requiere aprendizaje, el que requiere el uso de recursos²¹. Esto ha sido poco reconocido (menos aún estudiado en profundidad) en la literatura. Baldwin y Scott (1987) por ejemplo, afirman que "... los costos de producir conocimiento puro son fijos, y existen costos variables despreciables al expandir la producción, cuando esta producción es medida como el número de personas a las que se le ha revelado el

²¹Una vez que existen costos de difusión y adopción, el conocimiento pasa a tener al menos en parte la característica de bien privado. Supóngase que solamente el profesor X conoce $s_j \in S$, para conocer s_j basta una comunicación verbal con él, pero que el profesor X debe viajar hasta cada persona que desee conocer s_j . En ese caso X no es un bien público, sino privado, cuyo insumo es el transporte del profesor a su alumno. Esto abre la posibilidad de plantear modelos en los que aún cuando existan costos de generar s_j , pueda hacerse de manera competitiva y óptima socialmente.

conocimiento"²². Dosi (1988) sin embargo, sostiene que debe distinguirse entre tecnología e información, puesto que la primera incluye elementos de conocimiento tácito y específico a firmas y/o personas que no pueden ser difundidos completamente. El punto fundamental es que si existen costos de difusión y adopción del conocimiento, las características de bien público de la tecnología disminuyen²³. Aunque aun mucha investigación es necesaria para precisar las consecuencias de esto, la discusión precedente implicaría que en alguna medida los costos de difusión y adopción otorgan una protección natural a los innovadores; así, una estructura de mercado monopólica ex-ante, o una patente de invención, no serían necesarias para permitir una innovación.

Por otro lado, Leibenstein (1966) señala que una firma que ya obtiene rentas monopólicas podría tener menores incentivos para incrementarlas como una forma de proteger sus actuales fuentes de rentas. Sin embargo, este argumento va en contra del supuesto económico fundamental de agentes maximizadores y tiende a ser más aceptado en el caso de monopolios puros, mientras que los argumentos de Schumpeter tendrían mayor validez en los casos de competencia monopolística. Por su parte, Arrow (1962) y Usher (1964) argumentan que una firma nueva tendrá mayores incentivos para innovar que una firma idéntica, pero que ya posee un poder monopólico, debido a que esta última podría ver reducidas sus ventas originales si la innovación significa la introducción de un nuevo producto que en algún grado competirá con el existente y/o implicará la obsolescencia prematura de algún equipo ya instalado.

En cuanto a la relación positiva que existiría entre innovación y tamaño de la firma, se puede contraargumentar que en las firmas grandes los problemas de burocracia interna y falta de incentivos podrían compensar las reducciones de costos antes señaladas.

Existe un punto, sin embargo, que rara vez es mencionado. Todos los argumentos señalados anteriormente se centran en situaciones en que distorsiones en otros mercados (monopolio en el bien final, información asimétrica en el mercado de capitales, mercado de servicios creativos con características monopsónicas) tenderían a proporcionar rentas tales que se reduciría el problema provocado por el hecho de que el conocimiento, en ciertos casos, sea un bien público. De esta forma, todas estas soluciones que podrían ser proporcionadas automáticamente por el mercado serían soluciones tipo "second best".

Antes de terminar con este tema, debemos mencionar cuál es la situación de la "investigación básica" en relación al problema que nos ocupa. De esta forma, tal como se desprende de lo señalado en la sección 2.1, el punto de partida de la investigación aplicada es la investigación básica. Ello significa que las firmas que poseen un mayor y mejor staff de investigación, podrán aprovechar en mejor forma la investigación básica,

²²Baldwin y Scott parecen no considerar que no es lo mismo acceder a cierta información que saber interpretarla. Se puede consultar a muy bajo costo una revista de física nuclear, pero es muy distinto entender lo que ahí aparece.

²³Debe notarse que en algún sentido la característica de bien público depende del lapso de tiempo. Es posible que los costos de adopción y de difusión disminuyan por el tiempo (por ejemplo, es más fácil copiar hoy una calculadora de bolsillo que hace 20 años).

lo que tiende a reforzar las hipótesis de Galbraith antes expuestas. Además, las innovaciones productivas (investigación aplicada) serán mayores en los campos en que exista un mayor desarrollo de la investigación básica, pues se incrementa la probabilidad de éxito y se reducen los costos de búsqueda.

Para finalizar, debido a la naturaleza misma de la investigación básica (que genera conocimientos sin una aplicación directa), en que la probabilidad de que un conocimiento específico pueda ser aplicado a la solución de un problema determinado, en general, tenderá a cero, mientras que la probabilidad de que pueda ser aplicado a la solución de algún problema cualquiera en algún momento del tiempo, puede ser significativamente diferente de cero, nos lleva a concluir que aquí es aún más probable que se observe la discrepancia entre el beneficio privado y el beneficio social.

Externalidades y la Investigación Tecnológica

Se dice que existe una externalidad cuando se presenta una discrepancia entre el beneficio y/o el costo social de un proyecto en relación a la evaluación privada. En el caso del bien público, también se producía una discrepancia entre el beneficio privado individual y el social. Sin embargo, en él la suma de los beneficios privados individuales era igual al beneficio percibido por la sociedad.

El origen de las externalidades (positivas), en el caso de la investigación, está en el hecho de que, el conocimiento existente puede ser un insumo en el desarrollo de nuevos procedimientos productivos y/o nuevos productos. De esta forma, una vez que un conocimiento cualquiera es desarrollado, podría ser combinado potencialmente con cualquiera de los previamente existentes originando una nueva forma de resolver problemas, incluso en campos totalmente distintos al del descubrimiento original.

De lo anterior y en base a nuestra definición de investigación básica, que es aquella en que no se conocen sus aplicaciones posteriores, se desprende que la posibilidad de que existan externalidades del tipo antes señalado es mucho mayor en este caso, lo que se ve agravado por la mayor dificultad de establecer derechos de propiedad sobre este tipo de conocimiento. Sin embargo, aún si se puede establecer algún tipo de derecho de propiedad sobre el conocimiento, éste tenderá a ser transitorio, mientras que las aplicaciones de él podrían demorar largo tiempo en surgir, requiriendo incluso en muchos casos el desarrollo posterior de nuevos conocimientos.

Otra fuente de externalidades, presente en el caso de la investigación aplicada, es el incremento en el excedente del consumidor producido por la introducción de un nuevo producto o por la reducción en el costo de uno ya existente. Se debe notar que para que esto ocurra, no se requiere que el costos de los factores utilizados en la producción del bien final ni el beneficio percibido por los consumidores difieran de la percepción social acerca de ellos, ya que la externalidad a la que nos referimos surge exclusivamente del hecho de que en todo intercambio voluntario existirá un beneficio para ambas partes involucradas y que la investigación aplicada estará incrementando las posibilidades de intercambio.

Las apreciaciones anteriores parecen verse confirmadas por los estudios empíricos de Terleckyj (1977), Leonard (1971) y Mansfield et.al. (1977), en los que no sólo se encuentran sustanciales brechas entre el beneficio social y el beneficio privado de la investigación, sino que también, bajo ciertas circunstancias tales como las descritas en la sección pasada, el beneficio privado de la inversión en investigación aplicada sería más que el doble que el de otros tipos de investigación.

Lo anterior podría sugerir que, si existen externalidades positivas, un sistema de asignación descentralizada de recursos subinvertirá en investigación. La recomendación de política frecuente sugiere subsidiar esta actividad. Sin embargo, las peculiares características de la información disponible ex-ante hacen que el problema resulte más complejo de lo que a simple vista parece. Discutiremos en detalle la naturaleza de tal complicación más adelante, pero adelantaremos acá algunos puntos vinculados directamente con las externalidades. Como ya lo mencionamos, una teoría de la investigación debe vincular ex-ante esfuerzos con resultados. Al sugerirse como solución al problema de la externalidad el subsidio a la investigación, se está suponiendo implícitamente que un ente externo (en general el gobierno) dispone de información tal que le permite detectar el problema, y que, además, posee un mecanismo de intervención -en este caso el subsidio- cuyo costo de implementación es menor que el beneficio esperado de la intervención²⁴. Ahora bien, en general la investigación revelará algo (soluciones o conocimiento básico) que no era conocido antes de ser descubierto. Si esto es así, es probable que ex-ante no pueda vincularse $s_i \in S$ con $p_i \in P$, por cuanto la información requerida no puede obtenerse a un costo razonable. Este será el caso de los descubrimientos fortuitos, en las que, por alguna circunstancia no determinada, a una persona se le "revela" un set completo que combina conocimientos y tecnologías de manera original, para la solución de un problema determinado, sin que ello sea el resultado de un proceso sistemático de búsqueda y de asignación de recursos a dicha tarea²⁵. En estas circunstancias, parece claro que no tendrá sentido ni será factible el subsidiar conductas de este tipo, ya que ello no alterará los resultados obtenidos. Sin embargo, sí podría resultar de crucial importancia el desarrollar estructuras institucionales que favorezcan este tipo de descubrimientos y permitan aprovecharlos. Así, por ejemplo, un sistema educacional centrado en el desarrollo de la capacidad analítica (capacidad de desarrollar nuevas combinaciones de conocimiento y enfrentar problemas nuevos en base a un set de conocimientos determinado) podría marcar una diferencia fundamental.

²⁴Esto no es privativo de las externalidades de la investigación. De hecho, la sugerencia de subsidiar (o de intervención gubernamental en general) si existen externalidades supone que el gobierno cuenta con información suficiente (o puede adquirirla a un costo razonable) y con una tecnología de intervención eficiente. Muchas veces las sugerencias de intervención olvidan este supuesto implícito.

²⁵Una vez más, el ejemplo del horno microondas es pertinente. Otro ejemplo podría ser la invención de la máquina a vapor a partir de la simple observación de lo que ocurre al hervir el agua.

Costos de Transacción e Información Asimétrica en el Mercado de la Investigación

Es nuestra impresión que este podría ser uno de los principales problemas que conducen a una asignación subóptima de recursos en el mercado de la investigación. Esto, debido a que el escaso desarrollo de un mercado formal, en el que se pongan en contacto los oferentes de investigación (investigadores) y los demandantes o usuarios de los nuevos conocimientos, se traduce indudablemente en mayores costos de transacción, tales como un elevado costo de tiempo empleado en la búsqueda de una persona idónea para llevar a cabo una investigación deseada o, a la inversa, de una persona que se interese en los resultados y aporte el financiamiento de una investigación ya planificada. Además, otra fuente posible de elevados costos de transacción sería la necesidad de complejos contratos que establezcan las obligaciones e incentivos para cada una de las partes involucradas, tema que abordaremos con mayor detalle en el capítulo siguiente y que aquí esbozaremos brevemente.

De lo expuesto anteriormente, surge en forma natural la pregunta relativa a por qué no se desarrolla en forma espontánea un mercado de este tipo. Entre otras razones, aquella que parece ser fundamental es la frecuente existencia de información asimétrica, entre oferentes y demandantes, respecto a la calidad (entendida como esfuerzo desplegado y probabilidad de éxito) del servicio ofrecido. A este respecto, Akerlof (1970) demuestra que en mercados en que se da la asimetría antes mencionada y en que los demandantes basan sus decisiones en la calidad promedio observada, existirán incentivos para que la calidad promedio y el tamaño del mercado se reduzcan. Esto tendría su origen en el problema del "free-rider", que consiste en el hecho de que, al no ser posible distinguir entre los distintos oferentes, el beneficio de ofrecer un servicio de alta calidad recaerá sobre todos los vendedores del mercado y sólo una fracción de él será captada por quien verdaderamente lo ofreció²⁶. Este problema tenderá a verse reducido si es posible ganar un "prestigio" (el que actúa como una señal que reduce la asimetría en la información) a través de repetidas participaciones en el mercado. Sin embargo, esto a su vez introducirá un nuevo problema, ya que dificultará la entrada al mercado de nuevos investigadores, reduciendo la competencia por el lado de la oferta.

Los problemas antes mencionados se ven agravados si se considera el hecho de que, en la mayor parte de los proyectos de investigación, no sólo existe incertidumbre respecto al esfuerzo desplegado por el investigador, sino que además existen una multiplicidad de eventos fortuitos (llamados en términos técnicos "estados de la naturaleza") que pueden afectar los resultados obtenidos. Esto se traduce en que los contratos deberán proveer los mecanismos que minimicen la probabilidad de comportamiento oportunista²⁷. Esto, a su vez, aumentará la complejidad y el costo de dichos contratos, lo que actuará como un impuesto que desincentivará las transacciones en un mercado con las características antes mencionadas.

²⁶Esto se debe justamente a que a causa de la existencia de información asimétrica, no será posible cobrar un precio diferente al cobrado por bienes de calidad promedio.

²⁷Un modelo formal a partir del cual se derivan proposiciones generales respecto a las formas que deben tomar estos contratos, es presentado en el capítulo siguiente.

Todo lo anterior se traduce finalmente en que el mercado de la investigación, tal como fue definido, en general muestra un escaso desarrollo y funciona con un alto grado de imperfección.

Incertidumbre, Riesgo, Información y su Relación con la Investigación

La investigación presenta peculiaridades que dificultan su estudio con las herramientas de la teoría económica. Esto es notorio cuando se consideran las características de la información con que cuenta quien conduce un programa de investigación. En parte importante la exploración de S^{kc} y C^{kc} es una incursión en lo desconocido, lo que revela una posible carencia del aparato analítico de la teoría económica. En efecto, gran parte del mismo supone implícitamente que los agentes cuentan con información completa, simétrica y gratuita al realizar una transacción²⁸, la cual se transmite a través de los precios que surgen de los mercados. El problema es el siguiente: si se explora lo desconocido, no se sabe qué se encontrará (en nuestra terminología, no siempre se sabe qué solución a qué problema se encontrará). Dado esto, no puede estimarse su valor, porque aún no existe un mercado ni un precio para dicha solución desconocida. Pero en ese caso no es posible relacionar causalmente esfuerzos de investigación con los resultados, suponiendo que son los precios los que transmiten la información. Si esta situación fuese una descripción adecuada de la realidad, tendríamos serios problemas para explicar el por qué se invierte en investigación. Dosi (1988) destaca que la incertidumbre asociada con ella es significativamente mayor que la que tradicionalmente acepta un modelo de teoría económica, puesto que la ignorancia no se limita al desconocimiento del costo y resultado de cada alternativa, sino que frecuentemente no se sabe cuáles son las alternativas posibles²⁹; a esto lo llama incertidumbre fuerte. Esto explicaría por qué muchas firmas trabajan con presupuestos de investigación cuyo monto parece ser independiente de los resultados.

Si bien esta última explicación es en alguna medida consistente con la evidencia empírica, no parece racional que agentes destinen recursos a actividades de las

²⁸Aportes de la economía de la información en los últimos 20 años han explorado las consecuencias de levantar parcialmente dichos supuestos. Los resultados son muchas veces sorprendentes. Akerlof (1970) sugiere que en un contexto de información asimétrica algunos mercados pueden desaparecer. Grossman y Stiglitz (1980) concluyen que si obtener información es costoso y los precios la transmiten perfectamente, no existe equilibrio.

²⁹En general, la teoría de decisiones bajo incertidumbre supone que las personas conocen todos los estados de la naturaleza posibles y las condiciones o pagos asociadas a cada uno de ellos dada una acción. Las preferencias pueden representarse con la función de utilidad de von Neumann-Morgenstern (1947) o bien según el enfoque de bienes contingentes al estado de la naturaleza (Debreu 1959, Cap. 7; Arrow, 1963; Mishan, 1976). Si bien en este último enfoque evita la definición de probabilidades para cada estado de la naturaleza, siendo formalmente similar a la teoría de decisiones bajo certidumbre, sigue siendo necesario el conocimiento de todos los estados de la naturaleza posibles. Véase Luce y Raiffa (1957) y Lindgren (1971) para un tratamiento formal de la teoría de las decisiones. Machina (1987) realiza una evaluación global de la misma destacando las deficiencias que presenta en su estado actual.

cuales no tiene información en absoluto³⁰. Entonces, si pretendemos plantear una teoría de la investigación, debemos explicar primero cómo reducen la incertidumbre fuerte las personas y/o instituciones que realizan dicha actividad de manera de intuir relaciones causales.

Tentativamente, distinguiremos dos maneras de encontrar soluciones a "problemas". Esta clasificación no es excluyente y, posiblemente, tampoco exhaustiva. En primer lugar, una solución puede ser descubierta por "casualidad". En cierto sentido, la solución se revela por sí misma³¹. Llamaremos a esto "descubrimiento exógeno" (DX)³². En segundo lugar, una solución puede ser buscada conscientemente, por ejemplo mediante la combinación de elementos de C^k y/o de S^k . En este caso, sin embargo, es necesario que exista información de algún tipo que indique al menos la posibilidad de que se encuentre una solución antes de iniciar la investigación. Llamaremos a esto "descubrimiento endógeno" (DE). Notemos que un DX puede entregar la información base que haga rentable la búsqueda de un DE³³.

Tal vez la distinción fundamental entre un DX y un DE radica en una transposición de etapas. En efecto, en un DX es la solución la que, en un sentido general, aparece antes que el problema. Primero se conoce la solución y luego la misma es asociada a un problema particular. Por el contrario, en un DE es el problema el que aparece antes que la solución, y la investigación se orienta a encontrar ésta última.

La mayor parte de la literatura relativa a la investigación analiza la búsqueda racional de DE³⁴. No es sorprendente entonces que la evaluación de los mecanismos de intervención en el mercado de la investigación (p. ej. patentes) se haga considerando sólo este punto de vista, y que por lo tanto, se dejen de considerar aspectos de relevancia práctica. A primera vista, esta omisión de la literatura parece justificada, si se considera que los DX podrían ser asociados a la incertidumbre fuerte. En ese contexto de ignorancia parece ser que el análisis económico no tiene mucho que decir. Nuestra hipótesis, sin embargo, es que los DX juegan un rol importante en el proceso de investigación, y que existen instituciones que han surgido para aprovecharlas sistemáticamente. Así, es posible entender el proceso de búsqueda de DX como un proceso racional (con propósito) de asignación de recursos escasos.

³⁰A no ser que se valore per-se la actividad de búsqueda. Esto puede ser muy importante en ciertos casos.

³¹Entenderemos acá por "casualidad" el que no haya sido posible ex-ante visualizar causalidad acerca de qué acciones llevan al descubrimiento de una solución de un problema específico.

³²Como quedará claro más adelante, un DX en el sentido que se la quiere dar acá no implica ausencia de acción racional.

³³En el ejemplo del horno de microondas, una casualidad reveló una posible solución; eso hizo rentable iniciar una búsqueda en S^k (y posiblemente en C^k) de manera de diseñar un horno microondas. Nótese que esta búsqueda puede revelar nuevos problemas (p. ej. diseñar un canal de comercialización).

³⁴Véase Kamien y Schwartz (1982) y Baldwin y Scott (1987) para una recopilación.

Antes de fundamentar nuestra hipótesis, es conveniente discutir brevemente el proceso de un DE³⁵. Dado que en este caso en general se sabe qué se busca (la solución a un $p \in P$) es posible, al menos en principio, obtener una estimación, (aunque imperfecta), del valor del DE³⁶. Y aunque no siempre es así, puede que se conozca una distribución que entregue una probabilidad positiva de encontrar una solución para un proceso de búsqueda determinado³⁷. Si ambos elementos están presentes, el análisis económico puede aplicarse de manera casi directa. Incidentalmente, en este contexto es donde es más probable que surjan los problemas tradicionales ya vistos. Por el contrario, puede notarse que en la búsqueda de un DX están ausentes ambos datos, lo que no es sorprendente si se considera que por definición aparece la solución antes que el problema³⁸.

Precisar la naturaleza de la información disponible para un investigador o institución que aproveche los DX en forma sistemática debe jugar un rol primordial en la fundamentación de nuestra hipótesis. Si por definición aparece antes la solución, es claro que ex-ante la probabilidad de encontrar una solución a un problema específico es cero. Sin embargo, la evidencia empírica indica que algunos proyectos de investigación serán exitosos, i.e. darán solución a algún problema, pero a priori no se sabe a cuál³⁹. En otras palabras, existe una probabilidad positiva de encontrar solución(es) a algún(os) problema(s) que no puede precisarse a priori⁴⁰. Ahora bien, si la cantidad de DX en el mundo real es significativa, es probable que uno de los determinantes importantes del ritmo del progreso tecnológico sea la existencia de una estructura institucional (por ejemplo empresas, mercados, etc.) que permita aprovecharlos. En este sentido es interesante notar que frecuentemente los DX revelan nuevos $c \in C$ y $s \in S$ sólo a pocas personas, al menos en una primera etapa⁴¹. De esta forma, aunque dichas personas no

³⁵La discusión que sigue hace abstracción de los problemas tradicionales ya mencionados.

³⁶La literatura suele medir este beneficio mediante los tradicionales excedentes del consumidor y del productor (por ejemplo, véase Dasgupta y Stiglitz, 1980) o más generalmente mediante un "valor" V de la innovación asociado a rentas monopolísticas (por ejemplo, véase Kamien y Schwartz, 1982, Cap.4).

³⁷Como es habitual, para efectos de una teoría basta que las personas se comporten como si conocieran una distribución de probabilidades o como si pudieran ranquear todos los estados de la naturaleza relevantes. Como lo destaca Mishan (1976) tomando una idea que se remonta a Debreu (1959, Cap. 7), el análisis económico no requiere necesariamente que los agentes tengan una función de utilidad à la von Neuman-Morgenstern (1947); sólo es necesario que distingan entre todos los estados de la naturaleza mutuamente excluyentes.

³⁸No necesariamente la asociación de un problema a la solución es inmediata. Por ejemplo, la mecánica cuántica apareció solamente como una teoría física y sólo años después posibilitó la revolución de los computadores.

³⁹Esta solución o conocimiento básico puede ser eventualmente combinado para encontrar otras soluciones.

⁴⁰Esto admite matices. Por ejemplo, la búsqueda puede estar acotada a un área específica del conocimiento (p. ej. la química) que permita soluciones de una clase más general.

⁴¹Es claro que en ciertos casos los descubridores tendrán incentivos para mantener esta situación de información asimétrica.

necesariamente quieran impedir la difusión del nuevo conocimiento, éste puede ser desaprovechado si dicha estructura no existe.

La exploración de C (investigación básica) entrega en su mayor parte como resultado DX , que en el futuro permitirán descubrir nuevos $s \in S$ ⁴². Por otro lado, parte de la investigación desarrollada por empresas parece tener el objetivo de obtener DX , que posteriormente se transformen en nuevos productos y/o procesos productivos.

Si el objetivo de la exploración de S y C es obtener utilidades, y aún si el problema del bien público no es importante, sólo se hará investigación tendiente a encontrar DX si el investigador conoce un rango suficientemente amplio de problemas a los que sean aplicables las soluciones que eventualmente se descubrirán⁴³. Así, se investigará sólo si la firma en cuestión conoce un set de problemas suficientemente grande. Surge entonces el siguiente dilema: mientras más básica sea el área estudiada, es más probable que los DX tengan amplios efectos en áreas diversas a lo largo del tiempo. No obstante, esto amplía el rango de problemas que deben conocerse para encontrar aplicación a lo que se descubre. De acuerdo a esto, una estructura de mercado con empresas de gran tamaño multiproductos tenderá a facilitar la innovación tecnológica. Sin embargo, la literatura sobre los costos de agencia sugiere que por motivos de eficiencia, cuyo origen primordial es la pérdida de control por la delegación de autoridad, el crecimiento eficiente de las empresas es limitado⁴⁴. De esta forma, parece ser que los recursos dedicados a la investigación básica serían sistemáticamente insuficientes. Nótese que este dilema surge de manera independiente del problema del bien público discutido anteriormente.

La discusión anterior permite bosquejar, aunque de manera incompleta, el proceso de la investigación. Tres aspectos llaman particularmente la atención. En primer lugar, dicha actividad, y, más generalmente, la de expansión del conocimiento, consiste en buscar información (elementos de C y S) y combinarla de manera de encontrar nuevas soluciones a problemas. El conocimiento puede estar (y en general estará) disperso entre distintos agentes (nos referimos al conocimiento de S , C y P ; formalmente, el tripe (S_i^k, C_i^k, P_i^k) difiere entre personas) lo que revela que uno de los problemas principales es la coordinación y el traslado de información entre agentes⁴⁵. Por otro lado, una faceta del proceso de la investigación, es el intento constante de aumentar la información y con ello disminuir la incertidumbre de explorar lo desconocido. Esto puede caricaturizarse de la siguiente forma: se busca lo inesperado,

⁴²Para una discusión de la economía de la investigación básica véase Nelson (1959).

⁴³Contrariamente a lo que se supone tradicionalmente, el calzar "soluciones" con "problemas" no necesariamente es instantáneo. Es en sí un problema cuya solución requiere recursos y probablemente de investigación.

⁴⁴Véase por ejemplo Calvo y Welicz (1978) y Williamson (1967).

⁴⁵Por lo tanto, uno de los determinantes principales del desarrollo tecnológico serán los incentivos y los mecanismos existentes para ese traslado de información.

de manera que los DX revelen soluciones por sí mismos. En esta etapa, la probabilidad de encontrar la solución a problemas específicos es cero, pero encontrar solución (o más generalmente, indicios de solución) a algún problema es positiva. Aplicar el análisis económico en esta etapa es un desafío teórico, por cuanto no es claro que pueda hacerse una lista exhaustiva de los distintos estados de la naturaleza⁴⁶. Una vez que surge un DX⁴⁷, y si existe una estructura institucional que permita aprovecharlo⁴⁸, la incertidumbre disminuye sustancialmente; en un sentido bastante preciso puede hablarse de que existe una probabilidad (o una distribución) de encontrar una solución a un problema, a esa altura conocido⁴⁹. Es en esta etapa donde los problemas tradicionales pueden jugar un rol más importante⁵⁰. Finalmente, la discusión anterior sugiere que una teoría general de la investigación no puede obviar el proceso de adaptación a las nuevas circunstancias provocado por los DX, ni las instituciones que han surgido para ello.

Es quizás por esto que el estado presente de la teoría de la investigación dista mucho de ser satisfactorio y concluyente, posiblemente por la inadecuación del aparato teórico con que actualmente cuenta la teoría económica para abordar facetas fundamentales del objeto de estudio. A nuestro juicio, un programa de investigación no debe obviar el estudio de tres puntos fundamentales. Primero, los mecanismos mediante los cuales se traslada el conocimiento y la información, y las instituciones que cumplen tal función. Segundo, la forma en que los agentes se adaptan a situaciones nuevas y en algún sentido inesperadas⁵¹, y las instituciones diseñadas para ello; y tercero, el proceso mediante el cual las firmas disminuyen la incertidumbre⁵² asociada con la investigación tecnológica.

⁴⁶Las conclusiones derivadas de nuestra hipótesis no son triviales. En efecto, implican que la dirección de una parte importante del progreso tecnológico está determinada por accidentes y por las instituciones con que cuenta una sociedad para aprovecharlos. Para una explicación complementaria de dichos patrones de progreso tecnológico, véase Dosi (1988).

⁴⁷No necesariamente un D consiste en incorporar a $\bigcup_{i=1}^n S_i^k$ un nuevo subconjunto. Por ejemplo, un $s_i \in S_i^k$, $s_j \in S_j^k$, $j \neq i$ puede incorporarse a S_i^k ; si j conoce un problema asociado a s_j , lo que no sabía i , ya puede hablarse de un descubrimiento.

⁴⁸Nótese que un mismo DX tendrá efectos distintos en instituciones alternativas. Por ejemplo, es improbable que el horno microondas hubiese sido inventado (¿o descubierto?) en la Unión Soviética.

⁴⁹Scherer (1980, cap. 15) introduce, aunque menos concretamente, estas ideas.

⁵⁰Tal vez pueda formalizarse el proceso durante esta etapa de manera bayesiana; la nueva información permite ir corrigiendo sucesivamente las distribuciones a priori.

⁵¹Para una discusión sobre lo inesperado ver Shackle (1953).

⁵²Este programa no es muy novedoso; en gran parte lo esbozó Hayek (1937, 1945 y 1949a).

Problema Asociados a la Velocidad de Desarrollo de una Innovación

En esta sección estudiaremos algunas de las variables que pueden afectar la rapidez con que es llevada a cabo una investigación, de tal forma de tipificar algunas situaciones en las que el monto de recursos destinados a ello por el sector privado pueda diferir del óptimo social.

Nuestro punto de partida será una situación en que existen los incentivos para que la investigación sea realizada. Supondremos que dichos incentivos provienen del hecho de que existe un lapso de tiempo entre el momento en que una firma introduce un nuevo proceso productivo (nuevo producto y/o nueva forma de producción menos costosa) y el momento en que sus competidores lo pueden copiar, período de tiempo durante el cual la firma innovadora obtiene rentas monopólicas. Además, supondremos que los costos de investigación crecen en la medida que se intenta innovar con mayor rapidez.

En este contexto, una firma que desea maximizar su flujo de ingresos netos buscará un equilibrio en el que se igualen los beneficios (ahorro de costos) con los costos (menores ingresos), asociados a dilatar el período de investigación. Los costos estarán determinados por la probabilidad de que un rival se adelante con la innovación durante el período de dilación, por la disminución en el flujo de ingresos que ello provocaría (por el hecho de ser segundo en vez de primero) y, en caso de que no haya entrada de ningún rival durante dicho período, por la reducción en el período de tiempo entre la propia innovación y al imitación por parte de un tercero⁵³. Esto último significará un costo si un mayor período monopólico lleva a mayores participaciones de mercado y rentas luego de la imitación. Por otro lado, los beneficios de la dilación estarán dados por los menores costos de desarrollo y por el mejor aprovechamiento de productos y/o equipos productivos que serán reemplazados al introducirse la innovación⁵⁴.

De lo anterior se desprende que mientras mayores sean las rentas monopólicas asociadas a la innovación (lo que depende tanto del precio que se podrá cobrar como del lapso de tiempo que transcurre hasta el momento de la imitación por parte de rivales) y en la medida en que una pronta introducción implique mayores rentas luego de la imitación, una firma tendrá incentivos para desarrollar con mayor rapidez un nuevo proceso productivo. Por otro lado, mientras mayores sean las rentas que se pueden perder por los productos y/o equipos que serán desplazados por el nuevo proceso, una firma tenderá a retrasar su introducción.

Las consideraciones anteriores resultan útiles para discutir posibles discrepancias, en lo que respecta al tiempo de desarrollo (y el gasto de recursos, en la medida que diferentes grados de rapidez impliquen diferentes costos), entre el óptimo privado y el óptimo social. Dichas discrepancias serán el resultado de diferencias entre

⁵³Esto supone que la entrada de rivales es independiente del momento en que la firma innovadora introduce el proceso productivo.

⁵⁴Para una discusión detallada de las determinantes de la velocidad de desarrollo, ver Kamien y Schwartz (1972a y b, 1974, 1976, 1978a y b y 1980).

costos y beneficios privados y sociales de una innovación. De esta forma, resulta claro que en los casos en que un nuevo proceso productivo presente importantes externalidades positivas y/o incremente en forma sustancial el excedente de los consumidores⁵⁵, será deseable una introducción más rápida de dicho proceso que la que se observará como resultado de la decisión de una firma privada, ya que en este caso los beneficios sociales serán mayores que los privados. Un problema similar se presentará en los casos en que una empresa privada desee retardar la introducción de una innovación con el propósito de retener, por un período de tiempo mayor, rentas asociadas a bienes y/o equipos ya existentes. En general, la pérdida de dichas rentas constituye una mera redistribución de ingreso, por lo que no representa un costo real desde el punto de vista social.

En contraposición a los casos anteriores, en los que se daría una subinversión en el desarrollo tecnológico y en los que se retardaría la introducción de nuevos procesos productivos, la situación inversa se puede presentar si las rentas monopólicas asociadas a una innovación son lo suficientemente atractivas como para generar una activa competencia por ellas. En este caso, se dará una "carrera" por ser el primero y apropiarse de dichas rentas, por lo que cada una de las firmas involucradas podría sobreinvertir en el desarrollo del nuevo proceso productivo, con el fin de incrementar su probabilidad de ser primero. Además, no sólo puede aumentar el monto de recursos gastado por cada empresa, sino que también el número de empresas que compiten por dichas rentas. Esto constituirá una duplicación de esfuerzos y un derroche de recursos, si dicha competencia no aumenta la probabilidad de éxito del conjunto de empresas al menos en forma proporcional al incremento en el uso de recursos. Es importante señalar sin embargo, que tal como lo demuestran Kamien y Schwartz (1982), a partir de un cierto punto, incrementos en la rivalidad podrían tener efectos disuasivos que lleven a que cada firma comprometa montos de recursos menores en el desarrollo de un nuevo proceso productivo. Esto, debido a que cuando el grado de competencia aumenta, también comienza a incrementarse la probabilidad de perder lo invertido.

Este efecto disuasivo de la competencia, se verá reducido si es posible recuperar parte de los costos ya incurridos, en caso de que un rival se adelante en la introducción del nuevo proceso.

Resumiendo, cuando los beneficios sociales netos sean superiores a los beneficios privados netos (debido a externalidades, incrementos en el excedente del consumidor o desaparición de rentas privadas previamente existentes), el período de desarrollo óptimo de un nuevo proceso productivo será menor desde una perspectiva social. Sin embargo, en los casos en que no existan diferencias importantes entre los beneficios y costos sociales en relación a los beneficios y costos de cada firma privada, la competencia por rentas monopólicas puede conducir a una sobreinversión de recursos y a un período de desarrollo demasiado breve.

⁵⁵El excedente del consumidor corresponde a la diferencia entre el beneficio obtenido por un consumidor y el precio efectivamente pagado por el bien. Este significa que un nuevo proceso productivo incrementará dicho excedente si de él se obtiene un bien que satisface en mejor forma una necesidad o si lleva a una reducción en el precio pagado por un bien ya existente.

3. UN SISTEMA DE CONTRATOS OPTIMOS PARA LA INVESTIGACIÓN BÁSICA.

En este capítulo aplicaremos los modelos de Harris y Raviv (1976) y de Holmstrom (1979) al caso de la investigación, con el fin de obtener proposiciones prácticas relativas a contratos que incentiven un rendimiento óptimo de los recursos destinados a la investigación básica. Sin embargo, las proposiciones generales que se desprenden del modelo también son aplicables al caso de la investigación aplicada. Por las características de bien público y de no aplicabilidad directa presentes en el caso de la investigación básica, ésta es financiada fundamentalmente por instituciones como universidades y organismos estatales. Sin embargo, un alto rendimiento (en términos de conocimientos generados y ampliamente difundidos) podría constituir un poderoso incentivo para que el sector privado aporte fondos a dichas instituciones, debido a que la investigación básica constituye la base sobre la que se sustenta la investigación aplicada.

Por otro lado, en los contratos de investigación básica suelen ser especialmente relevantes las asimetrías de información entre quienes hacen la investigación y quienes la financian. En este contexto, los contratos "inteligentes" pueden solucionar en parte dicho problema.

Un contrato puede caracterizarse a través de dos elementos claves: en primer lugar, las variables que serán incluidas en él como determinantes de si las obligaciones de cada una de las partes han sido cumplidas (a las que llamaremos "parámetros de control"). Dichas variables deben ser conocidas por ambas partes al momento de repartir los resultados; en segundo lugar, todo contrato debe incorporar un mecanismo o cláusula que establezca la forma en que se dividirá el producto entre las partes. Como veremos, lo primero estará determinado por la información y los mecanismos de control disponibles, mientras que lo segundo dependerá de la aversión al riesgo de las partes.

Para explicar el origen de las conclusiones generales recién enunciadas y estudiar una serie de casos que permitan llevarlas a un plano más operativo, utilizaremos un modelo sencillo con las siguientes características y supuestos:

1. Una transacción por servicios de investigación involucra fundamentalmente a dos tipos de agentes: un demandante de los servicios, quien financia la investigación y al que llamaremos "empleador", y un oferente de servicios, quien realiza la investigación y al que llamaremos "investigador".
2. En este tipo de transacciones existen dos tipos de factores que afectan el resultado y que pueden introducir riesgo en la operación al no existir información perfecta: el esfuerzo (e) del investigador, que podría no ser conocido perfectamente por el empleador, y shocks aleatorios (f), constituidos

por cualquier hecho exógeno con alguna probabilidad de ocurrencia que pudiera afectar el resultado⁵⁶ y que llamaremos "estados de la naturaleza".

3. La relación entre empleador e investigador estará regulada por un contrato (C) en el que se especifican el set de variables (Z) relevantes para determinar el cumplimiento de las obligaciones de cada una de las partes y los pagos o retribuciones recibidas por ellas. Estos últimos supondremos que pueden ser traducidos a términos monetarios a través de una función $S(x)$, en el caso del investigador, y $R(x)$, en el caso del empleador, siendo "X" el resultado del proyecto⁵⁷.
4. En el caso que estudiamos, los parámetros de control (las variables incluidas en Z) podrán ser: el resultado del proyecto (X); el estado de la naturaleza (ϕ) y el nivel de esfuerzo (e). Sin embargo, como veremos más adelante, no necesariamente se deberán incluir todas ellas en todo contrato y, al no ser observable en forma directa alguna de ellas, podrían ser reemplazados por algún estimador imperfecto del verdadero valor.
5. El resultado será una función del esfuerzo desplegado por el investigador y del estado de la naturaleza observado:

$$(1) \quad X = \chi(e, \phi)$$

$$X_e > 0; \quad X_{ee} < 0$$

En que el signo de la primera y la segunda derivada supone la existencia de rendimientos decrecientes en el esfuerzo, dado el estado de la naturaleza.

Además, se supone que ambas partes asignan una probabilidad determinada a la ocurrencia de cada uno de los estados de la naturaleza⁵⁸. En otras palabras, supondremos que existe una distribución de probabilidades (condicional al esfuerzo realizado) conocida para los diferentes resultados que se pueden producir a consecuencia de diferentes estados de la naturaleza:

$$(2) \quad f(x, e) \geq 0$$

⁵⁶A modo de ejemplo podemos interpretar estos shocks como la disponibilidad de conocimientos e información, normalmente no determinables al inicio de una investigación, que unidos a los conocimientos y al esfuerzo del investigador serán fundamentales en los resultados del proyecto.

⁵⁷Estas retribuciones pueden ser independientes o presentar una relación directa con los resultados. Es decir, deberá cumplirse que: $S' \geq 0$; $R' \geq 0$.

⁵⁸Los resultados que se obtendrán requieren que ambas partes que suscriben el contrato estén de acuerdo respecto a los estados de la naturaleza posibles, sus probabilidades y sus efectos sobre el resultado. A este respecto se puede consultar Harris y Raviv (1976).

Para simplificar el problema supondremos que la distribución es uniforme en el intervalo (a, b)⁵⁹. En este caso se tendrá:

$$(3) f_e = \begin{cases} -f(x, e) = \frac{-1}{b-a} & ; X \quad (a, a+k) \\ 0 & ; X \quad (a+k, b) \\ f(x, e) = \frac{1}{b-a} & ; X \quad (b, b+k) \end{cases}$$

Lo que indica que un aumento en el nivel de esfuerzo reduce la probabilidad de los valores "bajos" de X, no afecta la probabilidad de los valores "intermedios" y aumenta la probabilidad de valores "altos".

6. El nivel de utilidad alcanzado por el investigador estará dado por:

$$(4) \quad U = W(S) - V(e)$$

$$W_s > 0 \quad ; \quad W_{ss} \leq 0$$

$$V_e > 0 \quad ; \quad V_{ee} \geq 0$$

⁵⁹Esta simplificación no afecta los resultados fundamentales y hace más sencilla su derivación. En este caso se tendrá

$$f(x,e) = \begin{cases} \frac{1}{b-a} & ; X \quad (a, b) \\ 0 & ; X \quad (a, b) \end{cases}$$

$$E(x, a) = \frac{a+b}{2}$$

$$V(x, a) = \frac{(b-a)^2}{12}$$

Y los valores mínimo (a) y máximo (b) dependerán del valor de e: $\frac{a}{e} = \frac{b}{e} = k \geq 0$, lo que supone que la varianza de los shocks aleatorios no se ve afectada por cambios en el nivel de esfuerzo.

en que W es una función que depende en forma positiva de la remuneración recibida⁶⁰, mientras que V es una función relacionada positivamente con el nivel de esfuerzo, de tal forma que el esfuerzo causa desutilidad.

Por otra parte, el nivel de utilidad del empleador estará dado por:

$$(5) \quad G = F(R(x) - S)$$

en que si $[I = R(x) - S]$ representa la retribución neta del empleador, se deberá cumplir que: $G_I > 0$; $G_{II} \leq 0$; donde la interpretación del signo de las derivadas es análoga a la explicación dada en la nota 61, para el caso del investigador.

7. En base a todo lo anterior, podemos resolver en una primera etapa el problema referido al sistema de reparto (S) óptimo que debe ser utilizado en los contratos de investigación. Posteriormente, utilizando los resultados que de aquí se obtengan, podremos resolver la segunda parte de un contrato de este tipo, es decir, aquella referida a los parámetros de control óptimos (Z) a ser utilizados en diferentes circunstancias.

En primer lugar, debemos plantear y resolver el problema enfrentado por el investigador. Dicho problema consistirá en maximizar su utilidad esperada (EU) respecto al nivel de esfuerzo a ser desplegado, dado el sistema de retribución ofrecido por el empleador:

$$(6) \quad \text{Max}_e [EU = \int (W(s) - V(e)) f(X, e) dX]$$

De esta forma, derivando EU con respecto a "e", igualando a cero el resultado y simplificando⁶¹, se obtiene la condición de optimalidad:

$$(C.1) \quad \int W(S) f_e dx - V_e = 0$$

⁶⁰Esta relación positiva está dada por el signo de la primera derivada ($W_s > 0$) o utilidad marginal del ingreso, mientras que el signo de la segunda derivada indica la aversión al riesgo del investigador:

$$\text{Si } W_{ss} = 0 \Rightarrow \text{Neutro al riesgo}$$

$$\text{Si } W_{ss} < 0 \Rightarrow \text{Averso al riesgo}$$

⁶¹En las simplificaciones se deben utilizar las siguientes propiedades de una función de probabilidades condicional

$$i) \quad \int f_e dx = 0$$

$$ii) \quad \int f(x, e) dx = 1$$

La interpretación intuitiva de esta condición es que el aumento esperado en la utilidad del investigador (debido a que se reduce la probabilidad de los malos resultados y aumenta la de los buenos) provocado por un incremento en su esfuerzo, debe ser igual a la desutilidad causada por dicho incremento.

Por su parte, el empleador buscará un sistema de retribución (S) que maximice su utilidad esperada ($EG = \int G(R(x) - S) f(x, e) dx$), sujeto a las restricciones dada por el hecho de que el investigador deberá recibir una utilidad esperada a lo menos igual a aquella proporcionada por su mejor alternativa ($EU^* = \int [W(S) - V(e)] f(x, e) dx$) y por el hecho de que el investigador modificará su esfuerzo ante cambios en S de acuerdo a la condición (C.1). Este problema se puede plantear, utilizando el Método de Lagrange, como:

$$(7) \quad \begin{aligned} \text{Max}_S EG &= \int G(R(x) - S) f(x, e) dx \\ &+ \lambda (-EU^* + \int [W(S) - V(e)] f(x, e) dx) \\ &+ \alpha (\int W(s) f_e dx - V_e) \end{aligned}$$

En que " λ " y " α " son multiplicadores de Lagrange⁶².

Para resolver este problema se debe derivar EG con respecto a S e igualar el resultado a cero. De ello se obtiene:

$$(C.2) \quad \int -G_f f(x, e) dx + \lambda \int W_s f(x, e) dx + \alpha \int W_s f_e dx = 0$$

Esta condición se puede interpretar como que el costo esperado para el empleador de una mayor retribución al investigador (primer término) debe ser igual en el margen al beneficio esperado para el empleador debido al aumento en el esfuerzo del investigador (segundo y tercer término).

Sin embargo, el sistema de retribución que se emplee deberá ser óptimo (lo que indicaremos como S*) para cualquier valor que finalmente tome X. Esto implica que se deberá cumplir que:

$$(8) \quad \frac{\partial S^*}{\partial X} = 0$$

⁶²El multiplicador λ se puede interpretar como el inverso aditivo de la reducción en la utilidad esperada del empleador, causada por un aumento en la utilidad esperada de la mejor alternativa del investigador. A su vez, α se puede interpretar como el aumento esperado en la utilidad del empleador asociado a un incremento en la valoración de su propio esfuerzo por parte del investigador. La demostración de que estos parámetros son positivos se puede encontrar en Holmstrom (1979).

Para que ello se cumpla, se debe dar que la condición de óptimo de la que se desprende S^* no cambie ante una variación en X ⁶³. Es decir:

$$(9) \quad \frac{\partial(C.2)}{\partial X} = 0$$

De esta forma, la condición (C.2) se reduce finalmente a:

$$(C.2) \quad \frac{G_I}{W_s} = \lambda + \alpha \cdot \frac{f_e}{f(x,e)}$$

Esta última expresión nos permite obtener una serie de proposiciones respecto a las características que debe tener un sistema de retribuciones óptimo en diferentes circunstancias. Dichas proposiciones son las siguientes:

Proposición 1: un sistema de retribución óptimo debe establecer rangos de valores para X , cada uno de los cuales debe estar asociado a una "retribución base" determinada, la que debe incrementarse en la medida que se pasa de un rango inferior a uno superior.

Demostración: De la ecuación (3) se desprende que la razón $(f_e/f(x,e))$ tiene tres valores posibles, cada uno de los cuales corresponde a un rango de X determinado:

$$(D.1) \quad \frac{f_e}{f(x,e)} = \begin{cases} -1 ; & X \in (a, a+k) \\ 0 ; & X \in (a+k, b) \\ 1 ; & X \in (b, b+k) \end{cases}$$

De esta forma, el lado derecho de la ecuación (C.2') toma los siguientes valores en cada uno de dichos intervalos:

$$(D.2) \quad \begin{aligned} (\lambda - \alpha) & \text{ si } x \in (a, a+k) \\ \lambda & \text{ si } x \in (a+k, b) \\ (\lambda - \alpha) & \text{ si } x \in (b, b+k) \end{aligned}$$

Los que, como se desprende de la nota 7, deben cumplir que:

⁶³Esto es una aplicación del Teorema de la Envolvente.

$$(\lambda - \alpha) < \lambda < (\lambda + \alpha)$$

Por otra parte, el lado izquierdo de (C.2') es creciente con respecto a S, lo que se desprende de:

$$(D.4) \quad \frac{\partial(G_I / W_S)}{\partial s} = \frac{-W_S \cdot G_{II} - W_{SS} \cdot G_I}{(W_S)^2}$$

Que será mayor que cero, si al menos una de las partes es adversa al riesgo (es decir, si G_{II} y/o W_{SS} es negativa).

Esto significa que al pasar de un intervalo a otro, lo que provoca un salto discreto en el valor del lado derecho de (C.2'), se deberá producir un salto discreto en el valor de S de forma de restablecer la igualdad. El monto de dicho "salto" estará dado por:

$$(D.5) \quad dS = \frac{a}{\frac{\partial(G_I / W_S)}{\partial s}}$$

De esta forma, si llamamos S_1 , S_2 y S_3 a la remuneración base de las tres zonas, ordenadas de mayor a menor respectivamente, se tendrá que:

$$S_1 < S_2 = S_1 + dS < S_3 = S_1 + 2dS \quad \text{Q.E.D.}$$

Proposición 2: las retribuciones base definidas en el punto anterior, deben ser "corregidas" de tal forma que al interior de cada intervalo se mantenga una asignación óptima del riesgo.

Existen tres formas posibles de corrección, cada una de ellas asociada a una determinada combinación de actitudes hacia el riesgo de las partes:

a) Si el empleador es neutro al riesgo y el investigador es averso a él: en este caso el empleador cargará con todo el riesgo, de tal forma que el investigador recibirá una remuneración constante (igual a la remuneración base respectiva) mientras X se mantenga dentro de los límites de un intervalo determinado.

Demostración: dentro de cada uno de los intervalos definidos anteriormente el lado derecho de (C.2') será constante, por lo que la razón (G_I / W_S) también deberá serlo. Sin embargo, el valor de X puede ser cualquiera dentro del rango respectivo. Esto significa que la retribución neta del empleador (I) y/o la retribución del investigador deberá cambiar.

En este caso se tendrá que $G_{II} = 0$, lo que significa que G es constante, mientras que $W_{SS} < 0$, lo que significa que W_S es decreciente respecto a S.

Uniendo lo anterior, se tiene que para que el lado izquierdo de (C.2') permanezca constante, cualquier cambio en X al interior de un intervalo determinado se deberá traducir exclusivamente en una modificación de la retribución neta del empleador, dejando inalterada la retribución recibida por el investigador.

b) Si el investigador es neutro al riesgo y el empleador es averso a él: en este caso será el investigador quien cargará con todo el riesgo, lo que significa que al interior de cada intervalo la retribución recibida por el investigador (S) se deberá incrementar a medida que aumenta X (a partir de la retribución base respectiva), de tal forma que la retribución neta recibida por el empleador ($I = R(x) - S$) permanezca constante.

Demostración: análoga al caso (a). Q.E.D.

c) Si ambas partes son adversas al riesgo, al interior de cada intervalo, la retribución de cada una de ellas se deberá incrementar a medida que aumenta X, de tal forma que la razón (G_I / W_s) permanezca constante.

Demostración: en este caso se tiene que G_I y W_{ss} serán negativas. Esto, unido a la ecuación (D.4), significa que:

$$\frac{\partial(G_I / W_s)}{\partial s} > 0$$

Además se tiene que:

$$(D.6) \quad \frac{\partial(G_I / W_s)}{\partial x} = \frac{(W_s \cdot G_{II} \cdot R_x)}{(W_s)^2} < 0$$

Ahora, usando la derivada implícita se tiene:

$$(D.7) \quad \left. \frac{ds}{dx} \right|_{\left(\frac{G_I}{W_s}\right) \text{cte}} = - \left(\frac{\frac{\partial(G_I / W_s)}{\partial x}}{\frac{\partial(G_I / W_s)}{\partial s}} \right) > 0$$

Lo que unido a que se debe dar que $R_x > 0$, demuestra la afirmación anterior. Q.E.D.

Proposición 3: si el costo de oportunidad (valor de la mejor alternativa) del esfuerzo del investigador es mayor, la retribución base de cada uno de los intervalos deberá ser mayor.

Demostración: esta afirmación se desprende en forma directa de lo señalado en la nota 61 y de la demostración de la proposición 1.

Proposición 4: si el valor esperado neto para el investigador de su esfuerzo adicional es mayor, los "premios" otorgados al pasar a un intervalo superior deberán ser mayores.

Demostración: esta afirmación se desprende en forma directa de lo señalado en la nota 61 y de la demostración de la proposición 1. Q.E.D.

Con esto concluimos nuestra caracterización de un sistema de retribuciones óptimo, para el caso de contratos de investigación. A continuación pasamos a tratar el segundo problema que se debe enfrentar al diseñar este tipo de contratos. Este consiste en la selección de parámetros de control óptimos. Dicho problema surge debido a la existencia, en este tipo de transacciones, de información asimétrica. Tal como señalamos anteriormente, este fenómeno consiste en una discrepancia en la información disponible para cada una de las partes, relativa a la calidad del servicio ofrecido. En este caso, la discrepancia se refiere a la imposibilidad de conocer por parte del empleador, ni siquiera ex-post, lo que hemos llamado el "esfuerzo" del investigador.

Antes de continuar, parece pertinente aclarar el concepto de "esfuerzo", para el caso de la investigación. Aquí, a lo menos se pueden identificar tres dimensiones para dicha variable: el tiempo de trabajo dedicado al proyecto; la intensidad con la que se utiliza dicho tiempo; el nivel de conocimientos de la persona que ofrece el servicio. No es difícil darse cuenta, al pensar en casos particulares, que en la mayor parte de ellos no será posible para el empleador conocer perfectamente cada una de dichas dimensiones, por lo que en el contrato se deberán establecer mecanismos de control indirectos.

Los parámetros de control a ser utilizados estarán determinados por la información disponible para ambas partes al término del proyecto. De esta forma, en base a nuestro modelo, se pueden distinguir dos situaciones posibles:

1. Si ex-post se conoce el resultado (x), el estado de la naturaleza (f) y además es posible establecer una relación clara entre el esfuerzo (e) y el resultado, dado el estado observado⁶⁴ entonces, tal como se demuestra en Harris y Raviv (1976), lo óptimo será establecer estándares mínimos de esfuerzo⁶⁵. De cumplirse con dichos estándares, el investigador tiene acceso a un sistema de retribuciones como el descrito anteriormente, en caso contrario, no recibe retribución alguna.

El establecimiento de dichos estándares será posible ya que, a pesar de que no se puede observar directamente el nivel de esfuerzo desplegado, este podrá

⁶⁴Es decir, si se conoce la función de producción $X = X(e, \phi)$.

⁶⁵Estos estándares pueden tomar formas tales como jornadas mínimas de trabajo, experiencias, conocimientos técnicos apropiados, etc...

Este estándar se establecerá minimizando la pérdida esperada para el empleador, sujeto a la restricción impuesta por (C.2). De esta forma, estará determinado por las aversiones al riesgo de cada una de las partes, por el costo alternativo del tiempo del investigador, por la rentabilidad esperada del proyecto y por el costo alternativo de los recursos que se deberán gastar en caso que se de ese mínimo.

estimarse en forma indirecta en base a la información antes señalada⁶⁶. El establecimiento de este tipo de mecanismos tenderá a reducir los costos de control, pues propiciará una autoselección por parte de los oferentes de servicios. Ello, debido a que todos aquellos que a priori no puedan cumplir con el estándar mínimo no participarán en un contrato de este tipo.

2. Si *ex-post* sólo se conoce el resultado y no se dispone de estimadores para el estado de la naturaleza ni para el esfuerzo, se deberá utilizar dicho resultado para extraer información relativa a los parámetros desconocidos. Esto se podrá hacer utilizando el "teorema de extracción de señales"⁶⁷, cuya aplicación en este caso se puede explicar en términos intuitivos de la siguiente forma: si se conocen las distribuciones de probabilidades de los parámetros desconocidos (ϕ y e), en base a sus valores esperados se podrá determinar un resultado esperado. dicho valor esperado se deberá comparar con el resultado efectivamente observado y determinar la causa de la discrepancia. Para ello se utilizarán las varianzas de ambas distribuciones de probabilidades, siendo posible demostrar que se le deberá asignar una ponderación mayor a aquella variable que presente una dispersión mayor. De esta forma, si se sabe que la varianza del esfuerzo es relativamente grandes comparada con la de los estados de la naturaleza, se tenderá a atribuir la mayor parte de la discrepancia observada en el producto a una discrepancia en la misma dirección entre el esfuerzo realizado (pero no observado) del investigador y el esfuerzo promedio de los investigadores del mismo campo. Lo opuesto ocurrirá en el caso en que la varianza de los estados de la naturaleza sea relativamente grande en relación a la del esfuerzo.

En ambos casos lo óptimo será establecer como estándar el valor esperado del resultado y premiar o castigar las discrepancias respecto a dicho estándar. Sin embargo, en el primer caso los premios y castigos deberán ser relativamente mayores, pues la probabilidad de que ellos se deban al esfuerzo del investigador es mayor⁶⁸.

Si en la práctica resulta muy caro establecer un sistema de contratos que discrimine de acuerdo a los criterios antes señalados, ya sea porque no se pueden conocer las varianzas relativas de los parámetros desconocidos o simplemente porque el costo de implementar un sistema de contratos caso a

⁶⁶Esto será posible si la función $X = x(e, \phi)$ es invertible, de tal forma que se puede obtener una función del tipo $e = e(x, \phi)$.

⁶⁷Véase Lucas (1972) o Sargent (1987).

⁶⁸Esto se puede ver con mayor claridad al pensar en un caso extremo. Por ejemplo, si la varianza de los estados de la naturaleza es cero (sólo se puede dar un estado), cualquier discrepancia entre el resultado esperado y el observado se deberá a un esfuerzo diferencial, el que deberá ser premiado o castigado. En el caso opuesto, en el que sólo se puede dar un nivel de esfuerzo determinado, establecer premios o castigos no tendrá sentido como mecanismo de incentivo, aún cuando, tal como se depende de (C.2), si lo tendrá como una forma de repartir el riesgo implícito en la operación entre las partes involucradas.

caso es muy elevado, y finalmente se opta por una escala de premios y castigos única, se tendrá uno de dos sesgos posibles:

- a) El sistema se acerca al caso dos cuando en la realidad se da el caso uno. Esto se traducirá en que los premios serán "demasiado bajos" y se desalentará el esfuerzo del investigador.
- b) El sistema se acerca al caso uno cuando en realidad se da el caso dos. Esto se traducirá en que los premios y castigos serán "demasiado altos", lo que, en caso de que los investigadores sean aversos al riesgo, tenderá a desalentar la realización de proyectos con un alto riesgo asociado a los estados de la naturaleza. En otras palabras, cuando independientemente del esfuerzo realizado por el investigador, la probabilidad de que se den resultados extremos es muy elevada, un investigador averso al riesgo tenderá a rechazar un contrato con premios y castigos considerables, pues le asignará un menor valor a los premios que a los castigos posibles⁶⁹.

⁶⁹Se debe recordar que aversión al riesgo es equivalente a utilidad marginal del ingreso decreciente.

4. UN MODELO DEL MERCADO DE LA INVESTIGACION TECNOLÓGICA

4.1. Introducción

Tradicionalmente, la literatura ha concluido que en una economía de mercado el monto de recursos destinado a la investigación tecnológica no es óptimo⁷⁰. Análiticamente, es útil distinguir entre las fallas del mercado donde una innovación será aplicada (mercado del bien) y aquellas que surgen en el mercado donde se investiga (mercado de la investigación tecnológica).

El propósito de este trabajo es desarrollar un modelo del mercado de la investigación tecnológica que permita estudiar la naturaleza de sus fallas, y que considere explícitamente las distorsiones existentes en el mercado del bien. En la sección 2 se modela de manera muy simple el mercado del bien y las condiciones de costo y tecnológicas del mercado de la investigación. En la sección 3 determinamos la solución del planificador social, la que luego comparamos con las soluciones privadas monopólica y competitiva. Finalmente, en la sección 4 presentamos algunas conclusiones.

4.2. El Modelo

Mercado del bien

Consideremos un nuevo proceso para producir X, bien cuya función de demanda inversa es $P_X = D(x)$. Este proceso es patentable, y reduce el costo marginal de producción de la industria de $C^0(x)$ a $C^1(x)$ ⁷¹. Si la suma de los excedentes de productores y consumidores es una medida adecuada de bienestar, y el mercado pre-innovación es competitivo, su valor social potencial, W^L , es

$$(1) \quad W^L = \left\{ \int_0^{x_0} [C^0(x) - C^1(x)] dx + \int_{x_0}^{x_1} [D(x) - C^1(x)] dx \right\} / r^S \equiv \frac{FL}{r^S}$$

donde r^S es la tasa social de descuento, supuesta constante.

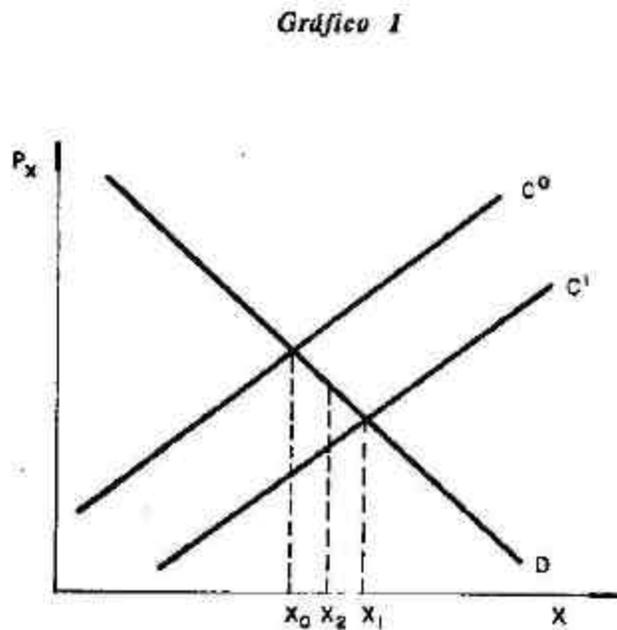
⁷⁰Por ejemplo, véase Schumpeter (1961, 1964 y 1975), Kamien y Schwartz (1982), Baldwin y Scott (1987), Galetovic y Cabrera (1989) y Scherer (1980).

⁷¹Suponemos que $C^0 > C^1$, $C' \geq 0$

Sin embargo, el beneficio social efectivo W^E dependerá de las distorsiones del mercado post-innovación. De manera muy general, éstas se originan en la insuficiente difusión y adopción de la innovación causada por el secreto y las patentes. Esto puede ser modelado de manera muy sencilla suponiendo que la producción post innovación es $x_2 \leq x_1$. Luego,

$$(2) \quad W^E = \left\{ \int_0^{x_0} [C^0(x) - C^1(x)] dx + \int_0^{x_2} [D(x) - C^1(x)] dx \right\} / r^s \equiv \frac{FE}{r^s} \quad 72$$

Gráfico 1



⁷²Por simplicidad suponemos que quien gana la patente la licencia, o bien monopoliza el mercado, pero que en ningún caso es conveniente continuar produciendo con la tecnología antigua.

Mercado de la Investigación Tecnológica⁷³

El mercado de la investigación está compuesto por laboratorios que producen proyectos de investigación. El *i*ésimo laboratorio puede producir α_i proyectos a un costo $c(\alpha_i, n)$, donde $n \equiv \sum_j \alpha_j$ es el número total de proyectos.

Supuesto 1: a) $c_{\alpha\alpha} \geq 0$ según $\alpha \geq \alpha'$; b) $\min \frac{c}{\alpha} = c(1, n) \forall n$ ⁷⁴

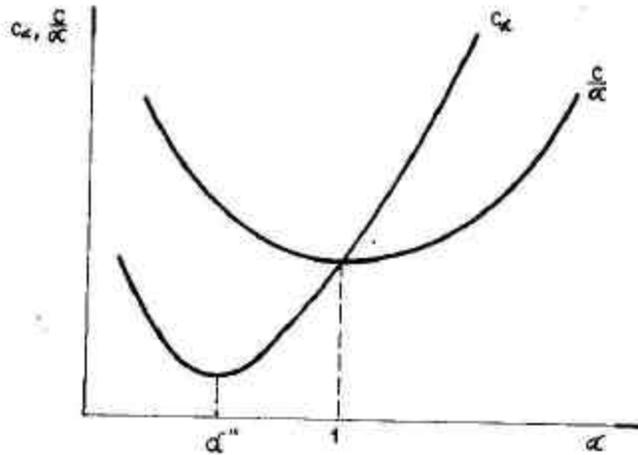
La industria enfrenta un costo creciente de contratar ciertos factores (p. ej.: científicos). Luego, $c_n > 0$; Además, suponemos que $c_{nn} > 0$.

Todos los proyectos comienzan simultáneamente y se terminan al cabo de un período; sólo entonces se sabe si son o no exitosos. La probabilidad de que al menos un proyecto sea exitoso es $P(n)$.

Supuesto 2: a) $P' > 0$; b) $P'' < 0$

Gráfico 2

Gráfico 2



⁷³El modelo acá descrito fue planteado por Wright (1983).

⁷⁴Adoptamos la notación $\partial x(y, z) / \partial y = x_{y, y}$, $dx(w) / dw = x'$.

4.3. Solución del Modelo

En esta sección resolveremos el modelo para estudiar la naturaleza de las fallas del mercado de la investigación tecnológica. En primer lugar analizaremos la solución de un planificador social; posteriormente compararemos su asignación de recursos con la de un monopolista y con la de un mercado competitivo con libre entrada.

Planificador social

Un planificador social deberá elegir el número total de proyectos de investigación (n) y su distribución entre los distintos laboratorios (α_i). Si es neutral al riesgo y no está restringido (puede intervenir en ambos mercados), y considerando que todos los laboratorios tienen idéntica función de costos, resolverá

$$(3) \quad \text{Max}_{\alpha, n} \left\{ U^L = \frac{F^L}{r^S} P(n) - \frac{n}{\alpha} c(\alpha, n) \right\}$$

De las condiciones de primer orden obtenemos que $\alpha^L = 1$, (ver apéndice) y que n^L debe satisfacer

$$(4) \quad \frac{F^L}{r^S} P'(n^L) = c(1, n^L) + n^L c_n(1, n^L)$$

La intuición de (4) es clara. Como se muestra en el apéndice, n^L es independiente de α^L . Por lo tanto, si el planificador realiza un proyecto más, empleará un nuevo laboratorio, cuyo costo adicional es $c(1, n^L)$. Sin embargo, este nuevo proyecto usa factores cuya oferta es creciente, y aumenta el costo total de los restantes laboratorios. En el margen, este costo adicional debe igualarse con el beneficio marginal de hacer un proyecto más, el aumento en la probabilidad de descubrir multiplicado por W^E .

Por otro lado, si el planificador no puede intervenir en el mercado del bien final, su problema es

$$(3') \quad \text{Max}_{\alpha, n} \left\{ U^E = \frac{F^E}{r^S} P(n) - \frac{n}{\alpha} c(\alpha, n) \right\}$$

de donde se obtiene que $\alpha^E = 1$ y que n^E debe satisfacer

$$(4') \quad \frac{F^E}{r^S} P'(n^E) = c(1, n^E) + n^E c_n(1, n^E)$$

Proposición 1: $n^L \geq n^E$

Demostración: Salvo por $F^E \leq F^L$, U^E y U^L son idénticos. Luego, basta con demostrar que $dn^E/dF^E > 0$, por cuanto $\lim_{F^E \rightarrow F^L} U^E = U^L$. Diferenciando totalmente U_n^E , evaluando en $(1, n^E)$, y reordenando obtenemos:

$$(5) \quad dn^E/dF^E = P' / \{r[2c_n + n^E c_{nn} - F^E P'']\} > 0$$

La intuición de esta demostración es como sigue: si el mercado post-innovación está distorsionado, su nivel de producción será menor que el socialmente óptimo. Luego, el beneficio social efectivo del descubrimiento es menor que el potencial y por lo tanto destinar recursos a investigar es menos rentable. Así, el esfuerzo de investigación socialmente óptimo es menor.

La proposición 1 es un caso particular del "teorema del Second Best" (Lipsey y Lancaster, 1956). Destaca que un mecanismo corrector que intervenga sólo en el mercado de la investigación debe considerar las distorsiones prevalecientes en el mercado del bien post-innovación.

Monopolio

Los beneficios que una firma privada obtiene de innovar y patentar dependerán de su capacidad de apropiación del beneficio social, ya sea participando directamente en el mercado del bien, o también licenciando. Resumiremos lo anterior suponiendo que una firma exitosa recibe un flujo anual A . Si suponemos que A no proviene de redistribuciones de riqueza⁷⁵ y que la producción post-innovación es x_2 , entonces $A \leq F^E$.

Si sólo una firma tiene capacidad de investigación, su problema consiste en elegir n y α de modo de

$$(6) \quad \text{Max}_{\alpha, n} \{ \Pi = [A/r(T)]P(n) - \frac{n}{\alpha} c(\alpha, n) \}$$

donde $T \equiv \frac{n}{\alpha} c(\alpha, n)$ y r es la tasa privada de descuento.

Supuesto 3: $r(T)$ cumple con: a) $r \geq r^S$; b) $r' \geq 0$, c) $r'' \geq 0 \forall T$.

⁷⁵Una redistribución de riqueza ocurre, por ejemplo, cuando una innovación de una firma le quita mercado y rentas a otra firma. Esto podría incentivar excesivamente la investigación. Véase Hirschleifer (1971).

El supuesto 3 nos permitirá analizar las consecuencias que tienen las restricciones de fondos sobre el nivel de equilibrio; éstas podrían ser especialmente relevantes para proyectos de investigación tecnológica. Por las condiciones de primer orden (ver apéndice) $\alpha^M = 1$; n^M debe satisfacer.

$$(7) \quad A ([P'(n^M) r(T^M) - r'(T^M) P(n^M)] / r(T^M)^2) \\ = [c(1, n^M) + n^M c_n(1, n^M)]$$

donde $T^M = n^M c(1, n^M)$. Nótese que el costo creciente de fondos no impide que cada laboratorio opere donde su costo medio es mínimo.

Proposición 2: $n^M \leq n^E$

Demostración: evaluando π_n en $(1, n^E)$ se obtiene

$$(8) \quad \pi_n(1, n^E) = \left\{ \frac{AP'}{r} - [c + n^E] \right\} - \frac{APr_n}{r^2} \leq 0$$

luego el óptimo privado requiere de $n^M \leq n^E$.

La intuición es clara. Si $r(T^M) = r^S$ el monopolio investigará menos que un planificador social restringido, porque $A \leq F^E$. Si además $r(T^M) > r^S$, el descubrimiento vale aún menos para un privado, porque el costo alternativo de sus fondos es mayor que el social.

La proposición 2 resume dos problemas del mercado de la investigación. Primero, la apropiabilidad imperfecta del excedente social efectivo disminuye el incentivo a investigar⁷⁶. Segundo, una tasa de descuento privada superior a la social tiene los mismos resultados. Nótese sin embargo que si no es posible eliminar la distorsión en el mercado del bien y $r = r^S$ y $A = F^E$, el monopolio investiga el monto socialmente óptimo⁷⁷. Esto es así porque el monopolio internaliza completamente las consecuencias de variar n .

Competencia

⁷⁶Sin embargo, véase Baldwin y Scott (1987, Cap. 2), quienes argumentan convincentemente que esto es cierto solamente para una determinada clase de modelos.

⁷⁷Hemos supuesto que la industria de investigación en cuestión enfrenta una oferta creciente de ciertos factores (p. ej. científicos). Acá suponemos implícitamente que el monopolio es capaz de discriminar perfectamente, lo que evita una distorsión en el mercado de factores.

Supongamos ahora que el mercado de la investigación es competitivo (i.e. las firmas toman n como parámetro), que cada firma consiste en un laboratorio y que hay libre entrada. Si al finalizar el período q proyectos son exitosos, cada uno de ellos se adjudica la patente con probabilidad $1/q$. Así, la i ésima firma (laboratorio) resuelve.

$$(9) \quad \text{Max}_{\alpha_i} \{ \Pi_i = [A_i / r(c)] \frac{P(n) \alpha_i}{n} - c(\alpha_i, n) \}$$

Supuesto 4: $r(c)$ cumple con: a) $r \geq r_s$; b) $r' = 0$; c) $r'' \geq 0 \quad \forall c$

Supuesto 5: si 4 b y c se cumplen con desigualdad estricta, $r - \alpha r_\alpha \geq 0$ según $\alpha \leq \alpha^+$.

La condición de libre entrada impone que en equilibrio no existan cuasirentas. Por lo tanto, la firma marginal (denotada por el subíndice m) satisface

$$(10) \quad [A_m P(n^c) / n^c] \alpha_m^c / r(c(\alpha_m^c, n^c)) = c(\alpha_m^c, n^c)$$

La naturaleza del equilibrio competitivo es resumida por la proposición 4. Su interpretación se ve facilitada si se considera que

Proposición 3: si se cumple el supuesto 5, $\alpha^+ < 1$.

Demostración: ver apéndice.

Proposición 4: en un equilibrio competitivo, si se cumple la condición de segundo orden de (9) $\forall i$, los supuestos 4b, 4c y 5, y si $A_1 \geq A_2 \geq \dots \geq A_M$ entonces: a) $\alpha^+ > \alpha_1^c \geq \alpha_2^c \geq \dots \geq \alpha_M^c$ y b) $\Pi_1 \geq \Pi_2 \geq \dots \geq \Pi_M \equiv 0$.

Demostración: ver apéndice.

La proposición 4a muestra que si el costo de fondos es creciente, una industria competitiva realizará un número n^c dado de proyectos a un costo unitario mayor que el mínimo, porque cada firma operará a una escala subóptima. Nótese que esto no depende de las diferencias entre las firmas sino de que el costo de los fondos sea creciente. Asimismo, las utilidades esperadas de cada firma dependerán de su capacidad de apropiación del excedente social generado por la innovación.

Por último, resulta interesante examinar

Proposición 5: si $A_i = F^E \quad \forall i$, $r = r^S \quad \forall c$ y $U^E > 0$, entonces $n^c > n^E$.

Demostración: $r' = 0$, y por lo tanto $\alpha_i = 1 \forall i$ (ver apéndice). Un planificador seleccionaría n^c de manera tal que $\Pi_n(1, r^f) = 0$. Supongamos que $r^f = n^E$. Evaluando Π_n en $(1, n^E)$ y reordenando se obtiene

$$(11) \quad \pi_n(1, n^E) = \frac{1}{n^E} \left(\frac{F^E}{r^s} P' - n^E c_n - c \right) - \frac{1}{n^E} \left(\frac{F^E}{r^s} \frac{P}{n^E} - c \right) < 0$$

porque el primer término es igual a 0 (condición de primer orden de (4')) y el segundo claramente negativo, porque $U^E > 0$. Por lo tanto un planificador haría $n^E < n^c$.

La intuición dice que cuando una firma evalúa la posibilidad de entrar considera n dado. Por lo tanto no internaliza el aumento de costos que le provoca al resto de las firmas. Por otro lado, en el margen cada firma percibe que su probabilidad de ganar la patente es $\frac{P(n)}{n}$, aunque su entrada incrementa la probabilidad de descubrimiento sólo en $P'(P' < \frac{P}{n}$ porque $P'' < 0$). Ambos son internalizados por un planificador, y por lo tanto $n^c > n^E$.

La proposición 5 muestra que si existe competencia y hay libre entrada, se tenderá a producir el problema del *common pool* (Dasgupta y Stiglitz, 1980). En este sentido, la competencia genera un exceso de investigación.

4.4. Conclusiones

A partir de nuestro modelo derivamos algunas conclusiones. Cabe destacar sin embargo que las mismas no son necesariamente concluyentes, ya que podrían depender de manera importante de sus supuestos.

En primer lugar, el óptimo del mercado de la investigación no es independiente de las distorsiones prevalecientes en el mercado del bien post-innovación. Esto cobra especial relevancia si se considera que muchas innovaciones son susceptibles de ser patentadas, lo que provoca una situación monopólica en el mercado del bien; no es claro que siempre existan mecanismos alternativos de incentivo.

En segundo lugar, un monopolio tiende a replicar al planificador social restringido. Sin embargo, si su tasa de descuento es superior a la social, o si se apropia de manera imperfecta del excedente social generado por la innovación, su esfuerzo de investigación será inferior al socialmente óptimo.

Por último, un mercado competitivo tiende a sobreinvertir en investigación, porque las firmas no internalizan el efecto que sus proyectos tienen sobre el número total. Sin embargo, la imperfecta apropiabilidad del excedente generado por la

innovación y una tasa de descuento superior a la social operan en un sentido contrario. En todo caso, si las firmas competitivas enfrentan un costo de fondos creciente tenderán a operar en una escala subóptima; esto no es así para un monopolio que pueda reproducir sus laboratorios.

APENDICE

Proposición A.1: n^L es independiente de α^L

Demostración: el planificador no restringido resuelve (3). Las condiciones de primer orden son

$$(A.1) \quad U_n^L(\alpha^L, n^L) = \left(\frac{F^L}{r}\right) P' - \frac{1}{\alpha^L} [c + n^L c_n] = 0$$

$$(A.2) \quad U_\alpha^L(\alpha^L, n^L) = \left(\frac{F^L}{\alpha^L}\right) [c/\alpha^L - c_\alpha] = 0$$

Desarrollando (A.2), $c/\alpha^L = c_\alpha$. Por hipótesis, el costo marginal de cada laboratorio se iguala con el medio en $\alpha = 1$, independiente de n . Luego, de (A.1) llegamos a (4); y por lo tanto n^L es independiente de $\alpha^L \forall n$, porque $\alpha^L = 1 \forall n$.

Proposición A.2: si el supuesto 3b se cumple con desigualdad estricta: a) $r_\alpha \geq 0$ según $\alpha \geq 1$. b) $r_n > 0 \forall n$

Demostración:

$$a) \quad r_\alpha = r' \frac{n}{\alpha^2} (\alpha c_\alpha - c) \geq 0 \quad \text{según } \alpha \geq 1$$

$$b) \quad r_n = r' (n c_n - c) / \alpha > 0$$

Proposición A.3: n^M es independiente α^M

Demostración: El monopolista maximiza (6). Las condiciones de primer orden son:

$$(A.3) \quad \pi_n(\alpha^M, n^M) = \frac{A}{r^2} [Pr_n - \frac{1}{\alpha^M} [c + n^M c_n]] = 0$$

$$(A.4) \quad \pi_\alpha(\alpha^M, n^M) = -APr_\alpha/r^2 + \frac{n}{\alpha^M} [\alpha^M c_\alpha - c] = 0$$

De (A.4), $-APr_\alpha/r + n/\alpha^M [c_\alpha - c/\alpha^M] = 0$. Para $\alpha \geq 1$, $r_\alpha \geq 0$ y $c_\alpha \geq 0$. Luego, sólo en $\alpha^M = 1$ se cumple (A.4). n^M se obtiene solamente de (A.3), y por lo tanto es independiente de α^M .

Proposición 3: Si se cumple el supuesto 5, $\alpha^+ < 1$

Demostración: sea $\alpha^+ \geq 1$, entonces $c_\alpha = \frac{c}{\alpha} (1 + \theta)$, $\theta \geq 0$ según $\alpha^+ \geq 1$.

Notando que $r_\alpha = r'c_\alpha$ y que por hipótesis en α^+ $(r - \alpha r_\alpha) = 0$, debe cumplirse que $\frac{c}{\alpha} (r - r'(1 + \theta)) = 0$, lo que es una contradicción si $r' > 0 \forall c$. Por lo tanto $\alpha^+ < 1$.

Proposición 4: en un equilibrio competitivo, si se cumple la condición de segundo orden de (9) $\forall i$, los supuestos 4b, 4c y 5, y si $A_1 \geq A_2 \geq \dots \geq A_M$ entonces: a) $\alpha^+ > \alpha_1^c \geq \alpha_2^c \geq \dots \geq \alpha_M^c$ y b) $\Pi_1 \geq \Pi_2 \geq \dots \geq \Pi_M \equiv 0$.

Demostración: para la iésima firma

$$(A.5) \quad \pi_\alpha(\alpha_i^c, n^c) = \frac{\beta_i}{r^2} [r - r_\alpha \alpha] - c_\alpha = 0 \quad \beta_i \equiv A_i \frac{P(n)}{n}$$

$$(A.6) \quad \pi_{\alpha\alpha}(\alpha_i^c, n^c) = \frac{\beta_i}{r^3} (r_\alpha \alpha - 2r_\alpha (r - r_\alpha \alpha)) - c_{\alpha\alpha} < 0$$

Si disminuimos α , $|r - r_\alpha \alpha|$ disminuye, hasta hacerse positivo, cuando hagamos $\alpha < \alpha^+$. Si $\alpha^+ > \alpha^-$, por continuidad existe un α tal que $\Pi_\alpha = 0$. Luego $\alpha_1^c < \alpha^+$ no puede ser óptimo. Si $\alpha^+ < \alpha^-$, cumpliéndose la condición de segundo orden, por continuidad existe un α tal que $\Pi_\alpha = 0$. Luego, $\alpha_i^c < \alpha^+ \forall i$. Ahora bien, diferenciando totalmente (A.6) y reordenando.

$$(A.7) \quad \left. \frac{d\alpha_i^c}{dA_i} \right|_{n^c, \alpha_M^c} = -\gamma / \pi_{\alpha\alpha} > 0$$

donde $\gamma \equiv \frac{P}{n} [(r - r_{\alpha} \alpha) / r^2] > 0$, porque $\alpha_i^c < \alpha^+ \quad \forall i$. Luego $\alpha^+ > \alpha_1^c \geq \alpha_2^c \dots \geq \alpha_M^c$. Finalmente, evaluando (A.5) en (α_M^c, n^c)

$$(A.8) \quad \pi_{\alpha_i}(\alpha_M^c, n^c) = \{A_i P / r^2 n\} [r' \alpha_M^c - r - c\alpha]$$

Como $A_i \geq A_m$ por hipótesis, y $\Pi_{\alpha_m}(\alpha_m^c, n^c) = 0$, $\Pi_{\alpha_i} \geq \Pi_{\alpha_m}$. Evaluando Π_j en $\alpha_i^c, i < j, \forall i, j$ completamos la prueba.

Proposición A.4: Si $r' = 0$ y $A_i = F^E \quad \forall i$, entonces $\alpha_i^c = 1$

Demostración: Si todas las firmas son iguales, en equilibrio no tendrán rentas. Combinando (10) con la condición de primer orden obtenemos que cada firma elige α_i^c de manera que

$$(A.9) \quad c / \alpha_m^c - c\alpha = cr'/r$$

Como se ha supuesto que $r' = 0$, se tiene que $\alpha_i^c = 1 \quad \forall i$. Nótese que este resultado no depende de que $r = r^S$.

REFERENCIAS

- Akerlof, G. (1970), "The Market for Lemmons: Quality Uncertainty and the Market Mechanism", Quarterly Journal of Economics, Vol. 84, 488-500.
- Arrow, K. (1962), "Economic Welfare and the Allocation of Resources for Invention", en National Bureau of Economic Research, The Rate and Direction of Inventive Activity, Princeton, Princeton University Press.
- Arrow, K., (1963), "The Role of Securities in the Optimal Allocation of Risk Bearing", Review of Economic Studies, Vol. 31, 91-6.
- Arrow, K. y Debreu, G., (1954), "Existence of an Equilibrium for a Competitive Economy", Econometrica Vol. 22, 265-90.
- Arrow, K. y Hahn, F., (1971), "General Competitive Analysis", San Francisco, Holden Day,
- Baldwin, W. y Scott, J., (1987), "Market Structure and Technological Change", Fundamentals of Pure and Applied Economics, Chur, Harwood Academic Publishers GmbH.
- Bhattacharya, S. y Ritter, J., (1979), "Innovation and Communication: Signaling with Partial Disclosure", Graduate School of Business, University of Chicago.
- Calvo, G. y Wellicz, S., (1978), "Supervision, Loss of Control and the Optimum Size of the Firm", Journal of Political Economy, Vol. 86, 943-52.
- Dasgupta, P. y Stiglitz, J., (1980), "Uncertainty, Industrial Structure and the Speed of R&D", Bell Journal of Economics, Vol. 11, 1-28.
- Debreu, G., (1959), "Theory of Value. An Axiomatic Analysis of Economic Equilibrium", New York, John Wiley & Sons, Inc.

- Dosi, G., (1988), "Sources, Procedures and Microeconomic Effects of Innovation", Journal of Economic Literature, Vol. 26, 1120-71.
- Galbraith, J., (1952), "American Capitalism", Boston, Houghton Mifflin.
- Grossman, S. y Stiglitz, J., (1980), "On the Impossibility of Informationally Efficient Markets", American Economic Review, Vol. 70, 393-408.
- Harris, M. y Raviv, A., (1976), "Some Results on Incentive Contracts with Applications to Education and Employment, Health Insurance, and Law Enforcement", American Economic Review, Vol. 68, 20-30.
- Hayek, F., (1937), "Economics and Knowledge", Economica Vol. 4, 33-54, reimpresso en Hayek (1949 b), Cap. 2.
- Hayek, F., (1945), "The Use of Knowledge in Society", American Economic Review, Vol. 35, 519-30, reimpresso en Hayek (1949 b), Cap. 4.
- Hayek, F., (1949 a), "The Meaning of Competition", en Hayek (1949 b), Cap. 5.
- Hayek, F., (1949 b), "Individualism and Economic Order", London, Routledge & Kegan Paul Ltd.
- Hirschleifer, J., (1971), "The Private and Social Value of Information and the Reward of Inventive Activity", American Economic Review, Vol. 61, 561-74.
- Holmstrom, B., (1979), "Moral Hazard and Observability", Bell Journal of Economics, Vol. 10, 74-91.
- Kamien, M. y Schwartz, N., (1972a), "Timing of Innovation under Rivalry", Econometrica, Vol. 40, 43-60.
- Kamien, M. y Schwartz, N., (1972b), "Market Structure, Rival's Response, and the Firms Rate of Product Improvement", Journal of Industrial Economics, Vol. 20, 159-72.
- Kamien, M. y Schwartz, N., (1974), "Risky R&D with Rivalry", Annals of Economic and Social Measurement, Vol. 3, 276-7.
- Kamien, M. y Schwartz, N., (1976), "On the Degree of Rivalry for Maximum Innovative Activity", Quarterly Journal of Economics, Vol. 90, 245-60.
- Kamien, M. y Schwartz, N., (1978a), "Self-Financing of an R&D Project", American Economic Review, Vol. 68, 252-61.

- Kamien, M. y Schwartz, N., (1978b), "Potential Rivalry, Monopoly Profits and the Pace of Inventive Activity", Review of Economic Studies, Vol. 45, 547-57.
- Kamien, M. y Schwartz, N., (1980), "Conjectural Variations", Center for Mathematical Studies in Economics and Management Science, Northwestern University.
- Kamien, M. y Schwartz, N., (1982), "Market Structure and Innovation", Cambridge Surveys of Economic Literature, Cambridge, Cambridge University Press.
- Leibenstein, H., (1966), "Allocative Efficiency vs "X-Efficiency"", American Economic Review, Vol. 56, 392-415.
- Leonard, W., (1971), "Research and Development in Industrial Growth", Journal of Political Economy, Vol. 79, 232-56.
- Lindgren, B., (1971), "Elements of Decision Theory", New York, The Macmillan Company.
- Lipsey, R. y Lancaster, K., (1956), "The General Theory of Second Best", Review of Economic Studies, Vol. 24, 11-32.
- Luce, D. y Raiffa, H., (1957), "Games and Decisions", New York, John Willey and Sons.
- Machina, M., (1987), "Choice Under Uncertainty: Problems Solved and Unsolved", Journal of Economic Perspectives, Vol. 1, 121-54.
- Mansfield, et.al., (1977), "The Production and Application of New Industrial Technology", New York, Norton.
- Mishan, E., (1976), "Choices Involving Risk: Simple Steps Toward an Ordinalist Analysis", Economic Journal, Vol. 86, 759-77.
- Nelson, R., (1959), "The Simple Economics of Basic Scientific Research", Journal of Political Economy, vol. 47, 297-306.
- Ruff, L., (1969), "Research and Technological Progress in a Cournot Economy", Journal of Economic Theory, Vol. 1, 397-415.
- Samuelson, P., (1973), "Economics", 7th. edition, New York, Mc Graw Hill.
- Sargent, T., (1987), "Macroeconomic Theory", Second Edition, New York, Academic Press.

- Scherer, F., (1980), "Industrial Market Structure and Economic Performance, Second Edition, Boston, Houghton Mifflin Company.
- Schumpeter, J. , (1961), "Theory of Economic Development", New York, Oxford University Press.
- Schumpeter, J., (1964), "Business Cycles", New York, McGraw-Hill.
- Schumpeter, J. (1975), "Capitalism, Socialism and Democracy", New York, Harper & Row, Harper Colophon Ed.
- Shackle, G., (1955), "The Logic of Surprise", Economica, Vol. 20, 112-7.
- Solow, R., (1957), "Technical Change and the Aggregate Production Function", Review of Economics and Statistics, Vol. 39, 312-30.
- Terleckyji, N. , (1977), "Recent Findings Regarding the Contribution of Industrial R&D to Economic Growth", National Planning Association.
- Usher, D., (1964), "The Welfare Economics of Invention", Economica, Vol. 31, 279-87.
- Von Neumann, J. y Morgenstern, O., (1947), "Theory of Games and Economic Behavior", Princeton, Princeton University Press.
- Williamson, O.,(1967), "Hierarchical Control and Optimal Firm Size", Journal of Political Economy, Vol. 75, 123-38.
- Wright, B., (1983), "The Economics of Invention Incentives: Patents, Prizes, and Research Contracts", American Economic Review, Vol. 3, 691-707.