



La innovación tecnológica : definiciones y elementos de base



Esta obra está bajo una Licencia Creative Commons Argentina.
Atribución - No Comercial - Sin Obra Derivada 2.5
<https://creativecommons.org/licenses/by-nc-nd/2.5/ar/>

Documento descargado de RIDAA-UNQ Repositorio Institucional Digital de Acceso Abierto de la Universidad Nacional de Quilmes de la Universidad Nacional de Quilmes

Cita recomendada:

La innovación tecnológica: definiciones y elementos de base (1996). Redes, 6(3), 131-175. Disponible en RIDAA-UNQ Repositorio Institucional Digital de Acceso Abierto de la Universidad Nacional de Quilmes <http://ridaa.unq.edu.ar/handle/20.500.11807/500>

Puede encontrar éste y otros documentos en: <https://ridaa.unq.edu.ar>

*La innovación tecnológica:
definiciones y elementos de base*



La innovación tecnológica: definiciones y elementos de base*

Presentación

La concepción de la innovación tecnológica ha cambiado radicalmente en estos últimos años. Los modelos llamados "interactivos" reemplazaron el modelo utilizado anteriormente, llamado "modelo lineal". Los modelos actuales subrayan el papel central que desempeña la concepción industrial sobre las relaciones entre las fases "hacia adelante" (ligadas al mercado) y las fases "hacia atrás" (ligadas a la tecnología) de la innovación, como también sobre las numerosas interacciones entre la ciencia, la tecnología y las actividades vinculadas a la innovación, tanto si se realizan en el interior de la empresa como si lo hacen en el marco de diversas cooperaciones.

Actualmente, en los países de la OCDE lo esencial de la innovación se produce en las empresas. Los laboratorios universitarios, los centros de investigación gubernamentales y las organizaciones sin fines de lucro pueden contribuir de manera significativa, y a veces decisiva, a los avances científicos e incluso tecnológicos, pero en general no son sino marginalmente responsables de la innovación comercial.

El acortamiento del período que separa los avances científicos de su primera aplicación comercial, al igual que la interpenetración entre la ciencia fundamental y las tecnologías ligadas a la producción se han convertido en características permanentes del sistema de innovación. Sin embargo, las fases de desarrollo del proceso de innovación siguen siendo muy largas, al tiempo que los costos de I+D y otros gastos para la puesta en marcha se elevan rápidamente.

Las buenas relaciones entre la ciencia y la tecnología son cruciales para el éxito de la innovación. Las universidades y otros laboratorios de investigación científica a largo plazo y, por consiguiente, las autoridades públicas que los financian y que apoyan su trabajo continúan siendo actores extremadamente importantes de los sistemas nacionales de innovación. Las diferencias

* El documento que se publica forma parte de la serie *Le Programme technologie/economie (TEP)*, editada oficialmente por la OCDE. La presente es traducción del francés del título original *La technologie et l'économie. Les relations dominantes*. Copyright OCDE, París, 1992. Publicado con autorización de la Institución. Traducido del francés por Claudia Gilman. La responsabilidad de la traducción es de REDES.

que separan a la ciencia, que produce formas generales, fundamentales y abstractas del conocimiento, de la tecnología, que es específica y práctica, hacen necesario el desarrollo de numerosas "ciencias de transferencia" situadas en la intersección entre el conocimiento fundamental y la solución de los problemas concretos que surgen de las necesidades económicas y sociales.

El cambio tecnológico implica importantes procesos de aprendizaje de tipo acumulativo. Estos procesos comprenden el aprendizaje por la práctica, el aprendizaje por el uso y el aprendizaje por la interacción. Las instituciones de investigación y las empresas representan la base institucional de ese proceso de aprendizaje. Las tecnologías emprenden "trayectorias" y están sujetas a procesos complejos de selección. Su utilización y su aplicación dependen de un amplio espectro de factores económicos (precios relativos, distribución de ganancias), de valores sociales y de arbitrajes de parte de los principales actores involucrados. La noción de "rendimientos crecientes de adopción" da cuenta del hecho de que las tecnologías no son elegidas necesariamente en razón de su superior eficacia sino que se tornan eficaces precisamente a partir del hecho de que han sido elegidas.

Introducción

Este capítulo examina las características del proceso de innovación: su naturaleza, sus orígenes y ciertos factores que dan forma a su desarrollo. Su propósito es iniciar al lector en las nociones esenciales para la comprensión del proceso de cambio tecnológico, insistiendo en la noción de proceso. Volveremos a encontrar esas nociones en las discusiones ulteriores sobre la difusión tecnológica, los problemas organizacionales, los recursos humanos y su desarrollo, la competitividad y la globalización.

Por consiguiente, la Sección 1 se focaliza sobre el carácter interactivo de la innovación y las numerosas y costosas inversiones que ella implica. Se pone especial acento en mostrar cómo las características de las actividades innovadoras superan los modelos del análisis "lineal" del cambio tecnológico. La Sección 2 se refiere a la producción del saber científico y técnico con el fin de analizar la posición central que ocupan las empresas en el desarrollo de nuevas tecnologías. Después de haber considerado la ciencia y la tecnología como reservorios de conocimiento de los que se nutre la innovación, examinaremos sus relaciones de interdependencia y los lazos que las unen, y analizaremos por qué y cómo esas fuentes pueden y deben ser continuamente reconstituidas. En la Sección 3 examinaremos las continuidades y las discontinuidades en la tecnología, poniendo el acento sobre el aspecto acumulativo de los conocimientos científicos y tecnológicos. Se presentarán las

nociones de "trayectorias tecnológicas" y de "rendimientos crecientes de adopción" con el propósito de permitir una comprensión del desarrollo y de la selección de la tecnología.

1. La innovación como proceso

Según el primer estudio realizado en 1971 por la OCDE sobre esta cuestión, la innovación tecnológica debe "ser definida como la primera aplicación de la ciencia y la tecnología en una nueva dirección, seguida de un éxito comercial" (OCDE, 1971, p. 11). La definición pone el acento sobre los productos y los procedimientos de producción que, simultáneamente, incorporan un cierto grado de novedad y reciben una sanción positiva del mercado. Esto implica que a menudo, en las economías capitalistas, "ciertos tipos de I+D que podrían tener un valor social importante, simplemente no son emprendidos" (Nelson, 1988, p. 313), creando así las condiciones de una deficiencia de mercado que requiere una acción gubernamental. Hoy, la I+D ligada a cuestiones de medio ambiente es un ejemplo notable de esta situación. Partiendo de esta primera definición, se han establecido varias clasificaciones, especialmente la distinción reciente entre a) las innovaciones progresivas (incrementales); b) las innovaciones radicales; c) los nuevos sistemas tecnológicos y d) las tecnologías genéricas difusoras (Freeman, 1987), distinción que se encuentra en informes ya publicados de la OCDE y que es retomada más adelante en otros capítulos (OCDE, 1988).

La definición centrada sobre la "primera aplicación", incluso si posee utilidad como punto de partida del análisis, es limitada. Puede hacer pensar que adherimos a la tesis errónea según la cual las innovaciones representan entidades homogéneas bien definidas de las cuales se puede decir que entran en el circuito económico en un momento determinado. En realidad, las innovaciones fundamentales están sometidas a cambios relativamente profundos durante su período de vigencia. La importancia económica de los mejoramientos posteriores puede superar por mucho la de la invención original.¹ Igualmente, en el caso de productos o procedimientos totalmente nuevos, para la puesta a punto y el proceso de producción se requieren numerosos conocimientos intelectuales, múltiples pruebas y relaciones de ida y vuelta. El énfasis anteriormente puesto en la consideración de la filosofía del acto in-

¹ Estos procesos han sido estudiados por historiadores de la tecnología o por economistas interesados por los procesos históricos. Para un panorama de los elementos pertinentes, véase por ejemplo Rosenberg (1976).

novador aislado se desplazó hacia la consideración de los mecanismos sociales más complejos.

Actualmente se estima que es importante "utilizar términos como 'el proceso de innovación' o 'las actividades de innovación' para indicar que, desde esta óptica, las distinciones tradicionales entre descubrimiento, invención, innovación y difusión pueden no revestir más que un interés limitado" (Lundvall, 1988, p. 350). A lo largo de este informe, el término *innovación* será utilizado, en tanto sea posible, en ese sentido.

La innovación como proceso interactivo

Desde hace casi treinta años, las reflexiones sobre la ciencia y la tecnología han estado dominadas por una concepción lineal del pasaje de la investigación a la comercialización. En ese modelo, el desarrollo, la producción y la comercialización de nuevas tecnologías seguía un curso bien definido en el tiempo, que comenzaba con las actividades de investigación e implicaba una etapa de desarrollo de producto y luego finalizaba con la producción y la eventual comercialización. Ese modelo concordaba relativamente bien con la teoría del *impulso creado por la ciencia* (*science push*) que era hegemónica en los años cincuenta y sesenta, pero también podía adaptarse a las teorías más sutilmente fundamentadas, basadas en la *atracción ejercida por la demanda* (*demand pull*) adoptadas con creciente frecuencia en los estudios más elaborados.² Del mismo modo, otros estudios pertenecientes a esta nueva generación constataron la influencia de la demanda y de los mercados sobre la orientación y la tasa del cambio técnico, especialmente en el seno de trayectorias tecnológicas establecidas (véase Sección 3), sin poner en cuestión, de todos modos, las ideas establecidas acerca de la jerarquía del saber y su modo de desarrollo.³

² Véase Schmookler (1966). Examinando los datos intersectoriales relativos a una gran cantidad de industrias, antes y después de la Segunda Guerra Mundial, observó que en un sector industrial dado, había una estrecha correlación entre el número de invenciones y bienes de equipamiento y el volumen de ventas de bienes de equipamiento. De allí, Schmookler concluyó que para ciertos tipos de invenciones las consideraciones relativas a la demanda, gracias a su influencia sobre el tamaño del mercado, desempeñan un rol determinante en la distribución del esfuerzo de innovación. Lejos de ser la variable exógena postulada por muchos teóricos de la economía y por casi todos los modelos económicos, tal como se la mide por el número de patentes registradas, la innovación puede ser completamente endogeneizada y tratada como cualquier otra forma de inversión. Para un examen completo de este aspecto, véase Scott (1989).

³ Para una crítica, véase Mowery y Rosenberg (1979), pp. 102-153.

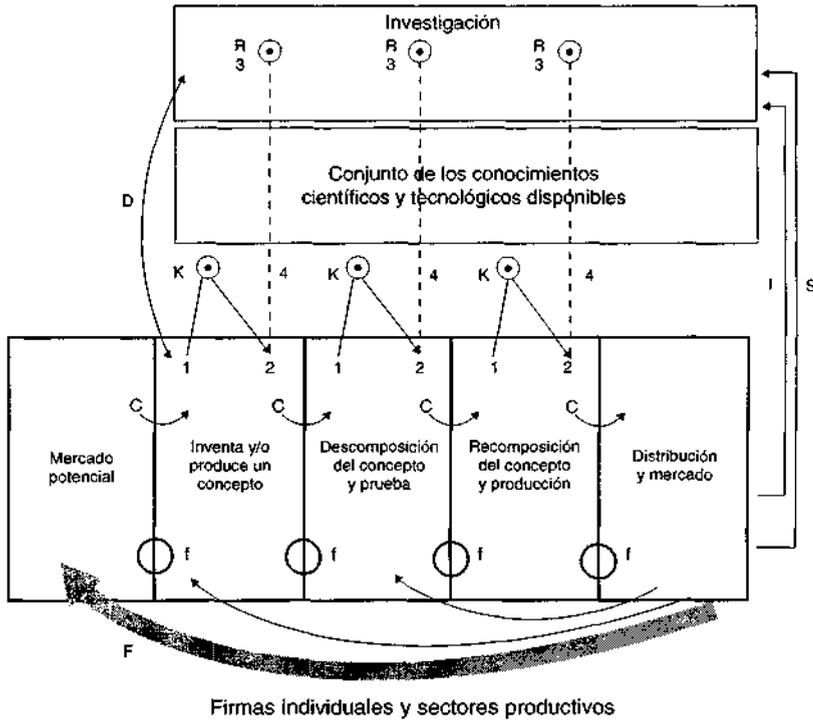
Hoy se admite finalmente que el proceso de innovación se caracteriza por interacciones y efectos de ida y vuelta. Los modelos interactivos divergen fuertemente respecto de la teoría lineal. En general, ponen el acento sobre el rol central de la concepción, sobre los efectos de ida y vuelta entre las fases *hacia adelante* y *hacia atrás* del modelo lineal anterior y sobre las numerosas interacciones que ligan la ciencia, la tecnología y la innovación en cada etapa del proceso. La Figura 1 representa lo que ahora llamamos comúnmente modelo de relación en cadena, que asocia dos tipos de interacciones ligeramente diferentes. El primero se refiere a los procesos en el interior de una empresa dada (o, eventualmente, de un grupo de empresas que trabajan en el marco de una red muy estrechamente interconectada). El segundo traduce las relaciones entre la empresa y el sistema científico y tecnológico más vasto dentro del cual ésta funciona (Kline y Rosenberg, 1986)

En el nivel de la firma, la cadena de innovación es ilustrada por un camino cuyo origen es la percepción de una nueva posibilidad y/o de una nueva invención basada en la ciencia y la tecnología, percepción a la cual sigue, necesariamente, la elaboración de la *concepción analítica* (véase recuadro 1) de un nuevo producto o de un nuevo proceso y conduce posteriormente al desarrollo, a la producción y a la comercialización. Se generan relaciones de ida y vuelta: los circuitos cortos vinculan en la cadena central cada fase (*hacia adelante*) con la que la precede inmediatamente, mientras que los circuitos largos vinculan la demanda percibida del mercado y los usuarios de productos con las diferentes fases *hacia atrás*. Los problemas de orden técnico que pueden surgir en el curso de los trabajos de concepción y de ensayo de nuevos productos y de nuevos procedimientos fertilizan con frecuencia la investigación en las disciplinas de ingeniería y también lo hacen en el campo científico.

La I+D interna y el establecimiento de laboratorios industriales en las grandes empresas han representado un primer y único modo muy fructífero de organizar los vínculos de los cuadros inferiores de las empresas durante varias décadas, especialmente cuando las tecnologías adecuadas presentaban aspectos idiosincráticos y tácitos. La función centralizada de I+D marchaba a la par de una integración vertical y horizontal en el seno de estructuras empresariales jerarquizadas. La integración facilitaba la circulación de la información entre el laboratorio de I+D y aquellos que aplicaban la nueva tecnología y permitía igualmente limitar las fugas de información fuera de la firma (Nelson, 1986, p. 10)

La prioridad concedida a la integración se encuentra actualmente cuestionada a la luz del modelo interactivo y de los nuevos enfoques sobre la organización de la firma. Hoy, la organización de la investigación en el interior de muchas grandes empresas norteamericanas y europeas y sus relaciones con las actividades de ingeniería son duramente criticadas (Bienaymé, 1988).

**Figura 1. Modelo interactivo del proceso de innovación:
modelo de relación en cadena**



Símbolos de las flechas debajo de la figura:

C= Cadena central de la innovación

f= circuitos de retro-acción

F= Retro-acción particularmente importante

Relaciones verticales

K-R: relaciones entre el conocimiento y la investigación. Si el problema se resuelve en el nudo K, la relación 3 con R no es activada. La relación de respuesta, que proviene de la investigación (relación 4), es problemática y figura en línea punteada.

D: relación directa (ida y vuelta) entre la investigación y los problemas que surgen de la invención y del concepto.

I: apoyo a la investigación en áreas científicas subyacentes a las de los productos estudiados, con el propósito de obtener directamente informaciones y dirigir los trabajos realizados afuera. La información obtenida puede ser aplicada a lo largo de toda la cadena.

Fuente: Adaptada, con algunas pequeñas modificaciones, de Kline y Rosenberg (1986).

Recuadro 1. La concepción en el proceso de innovación

La concepción ocupa un espacio central en el proceso de innovación. Entendida en sentido amplio, engloba la "concepción inicial", que reenvía a la "invención", la "concepción analítica" y finalmente "el estudio de nuevas combinaciones de productos o componentes existentes, las reestructuraciones de procedimientos y las concepciones de nuevos equipamientos en el estado actual de la ciencia" (Kline y Rosenberg, 1986, pp. 292-293, 302). Más rigurosamente, se trata de "diseños relativos a la definición de los procedimientos, a las especificaciones técnicas y a las características operacionales necesarias para el desarrollo y la fabricación de nuevos productos o procedimientos" (OCDE, en prensa).

Esta actividad no corresponde a un nivel inferior ni puede considerarse de rutina. Es una actividad que, todo lo contrario, puede inducir relaciones y efectos de ida y vuelta. La concepción, bajo una forma u otra, se encuentra en el punto de partida de las innovaciones técnicas, del mismo modo en que la reconcepción en una o varias etapas es esencial para su éxito final. En numerosas ramas, esta actividad continúa incorporando formas tácitas de conocimiento y un *know-how* técnico que se remonta a anteriores períodos donde la producción no tenía sino muy poco o ningún fundamento científico.*

* El primer autor importante en haberlo subrayado fue de hecho un científico muy atento a las interacciones entre la ciencia y los factores económicos y sociales. Véase Bernal (1971, vol. 1, cap. 1). Este punto fue después plenamente desarrollado por las investigaciones históricas de Rosenberg (1982).

En particular, en los Estados Unidos, economistas y sociólogos han comprobado que numerosos laboratorios de empresa se hallaban completamente desconectados de los problemas de la producción y acordaban una atención insuficiente a la concepción. Las firmas japonesas parecen caracterizarse por un grado más elevado de reconocimiento del carácter interactivo del proceso de innovación y, por ende, procuran medios superiores de creación de efectos de ida y vuelta apropiados. Igualmente, si una firma dada necesita competencias externas complementarias, tales relaciones pueden implicar la búsqueda de una cooperación interempresaria.⁴

El segundo conjunto de relaciones que podemos ver en la Figura 1 vincula el proceso de innovación inherente a las empresas y a los sectores industriales con la base de conocimientos científico y técnico (K) y con la investigación (R). Puede ser útil, en la óptica de la innovación interactiva basada en la indus-

⁴ Para una información más amplia, véase Roos (1991).

tria, establecer una distinción analítica entre dos tipos de conocimientos correspondientes a las dos demandas que las empresas formulan en relación con la ciencia y la tecnología; es decir, las demandas relativas a los conocimientos disponibles sobre los procesos físicos y biológicos y los trabajos llevados a cabo para mejorar y enriquecer esos conocimientos. Generalmente, la innovación se produce a partir de conocimientos disponibles. Cuando los ingenieros de una empresa se enfrentan con un problema de innovación técnica, se dirigen primero hacia los conocimientos científicos y tecnológicos existentes, frecuentemente por etapas sucesivas. La necesidad de investigación sólo surge cuando las fuentes de información se revelan inadecuadas.

Este análisis del rol de la I+D en el proceso de innovación en las empresas se aplica directamente a las grandes empresas. Por debajo de un cierto tamaño, las pymes no pueden afrontar el peso financiero de un equipo de I+D. A partir de algunos indicadores simples como el porcentaje de la facturación consagrada a I+D o el costo promedio de un investigador industrial, se ha podido estimar (Mordschelles-Regnier *et al.*, 1987) que ese tamaño crítico es del orden de mil personas para las industrias de débil intensidad tecnológica o de cien personas para aquellas de fuerte intensidad tecnológica. Para la mayoría de las pymes, pues, mantener un equipo de I+D está fuera de su alcance. Obviamente, en el caso de muchas empresas de esa categoría, no es necesario que el esfuerzo de renovación tecnológica sea permanente. Incluso si se acorta la vida útil de los productos y los procedimientos, éstos tienen como mínimo algunos años de vigencia. En ese lapso, la innovación incremental asociada al proceso normal de producción basta para asegurar la competitividad.

Diversas soluciones permiten asegurar los saltos tecnológicos necesarios para toda empresa. Cuando una pyme forma parte de la red de subcontratistas de una gran empresa, ésta puede encontrar ventajoso transferirle la tecnología necesaria mediante acuerdos de asociación en los cuales colaboran los laboratorios de la gran empresa y los ingenieros y técnicos de la pyme. En otros casos, la pyme encarga a través de un contrato su esfuerzo de I+D a una sociedad de investigación. Esta solución cuya importancia relativa crece rápidamente (actualmente 50 sociedades de ese tipo en Europa reagrupan 25.000 personas) merece una atención particular. El análisis de Kline y Rosenberg muestran que el esfuerzo de I+D solamente es eficaz en el marco de una interacción muy fuerte entre todos los elementos activos de la empresa, lo que parece excluir precisamente que la I+D sea subcontratada. Este tipo de sociedades de investigación realizadas a través de un contrato tienen éxito cuando se involucran con la pyme cliente, cuando saben analizar con ella las perspectivas del mercado, identificar su *know-how*, su *pasado tecnológico* y trabajar a lo largo del contrato en simbiosis con su personal. Tanto si el resultado de ese esfuerzo es un prototipo o un procedimiento llave en mano, lo

cierto es que habrá sido elaborado en las condiciones exactas en las que hubiera trabajado un equipo interno de I+D. Vemos así hasta qué punto ese proceso difiere de los acuerdos habitualmente pactados entre una empresa y un laboratorio universitario (excepto, tal vez, en el caso de ciertas universidades japonesas que funcionan sobre el mismo modelo).

El sector de empresas aporta un cierto apoyo financiero a la investigación y a la creación de nuevos conocimientos, ya sea directamente, ya sea por intermedio de fundaciones sin fines de lucro (D). Ese apoyo surge del hecho de que la producción industrial y las disciplinas técnicas que la acompañan necesitan poder acceder a las "ciencias exactas o predictivas" (véase recuadro 2) para resolver problemas tecnológicos complejos. Cuando una ciencia no ha avanzado lo suficiente como para proponer modelos realmente predictivos y cuando faltan elementos claves de conocimientos fundamentales, los ingenieros utilizan métodos más trabajosos para resolver los problemas técnicos y tienen que apoyarse sobre conocimientos anteriores. Como lo han demostrado Kline y Rosenberg:

[...] esto ocurre aún hoy en ciertas industrias de punta de sectores cruciales en los cuales los trabajos realizados para hacer avanzar los conocimientos son muy lentos y costosos por carecer de bases científicas para orientar mejor su curso [...] Esa falta de conocimientos predictivos trae como consecuencia costos de desarrollo muy elevados, largas demoras (por ejemplo para la cámara de combustión en los nuevos modelos de reactores de avión) así como también un conservadurismo sólido aunque justificado de parte de los conceptores (Kline y Rosenberg, 1986, p. 296) (véase recuadro 3).

Recuadro 2. De la descripción a la predicción en la ciencia fundamental

"Los conocimientos en las ciencias físicas y biológicas tienden a pasar por varias fases diferentes. En la primera fase, los trabajos científicos son de naturaleza descriptiva; en la fase siguiente, los trabajos se vuelven taxonómicos; en un tercer momento, los trabajos consisten en la formulación de reglas y de hipótesis generales y finalmente, en ciertas ciencias, hay una última etapa de construcción de modelos realmente predictivos. Hoy, ciencias como la mecánica o el electromagnetismo clásico son inmediatamente utilizables bajo esta forma por cualquier especialista de esas disciplinas comprometido con actividades de concepción analítica y de invención industrial. Una ciencia que se encuentra aún en la fase descriptiva o taxonómica es mucho menos fiable para esa clase de actividades, incluso si puede desempeñar en cualquier caso un papel muy importante para orientar los trabajos de innovación" (Kline y Rosenberg, 1986, p. 295).

Recuadro 3. Dos dimensiones de la interfase ciencia-tecnología

En las industrias de alta tecnología existen áreas de gran importancia en las que los esfuerzos realizados para hacer retroceder las fronteras tecnológicas son extremadamente lentos y costosos, porque la ciencia no está ni siquiera en condiciones de proveer los datos requeridos. El desarrollo de nuevas aleaciones que ofrecen combinaciones específicas de propiedades se realiza lentamente por falta de fundamentos teóricos que permitan prever el comportamiento de nuevas combinaciones de materiales, mientras que la ciencia de materiales estará pronto en condiciones de elaborar modelos que permitan establecer proyecciones. La solución de muchos problemas vinculados con la mejora del rendimiento energético se encuentra seriamente obstaculizada por la comprensión científica limitada de algo tan fundamental como la naturaleza del proceso de combustión. En los últimos años, el hecho de que la ciencia no pueda todavía explicar la relación entre la estructura molecular del carbón, ya conocida, y sus propiedades físicas y químicas, ha limitado enormemente el desarrollo de combustible sintético. El mejoramiento de la arquitectura de las computadoras está trabado por no poseer mejor fundamento científico. La concepción de aeronaves y turbinas a vapor se enfrenta con la ausencia de una teoría satisfactoria de la turbulencia.

Además, los avances científicos no son sino la primera etapa de una secuencia muy larga de acumulación de conocimientos. Los primeros lasers se pusieron a punto hacia 1960 y conocieron aplicaciones extremadamente diversas en los últimos treinta años. Sin embargo, desde el punto de vista del historiador de la ciencia, los principios científicos que sustentan el laser ya habían sido formulados por Einstein en 1916.

Los trabajos de investigación actualmente realizados a nivel mundial sobre el desarrollo de productos que permitirían incorporar los conocimientos científicos recientemente adquiridos en materia de superconductividad a alta temperatura, no darán quizás resultados que permitan explotar comercialmente a gran escala esos conocimientos sino dentro de décadas. Del mismo modo, los avances espectaculares que ha conocido la biología molecular en los años cincuenta, recién comienzan a encontrar aplicaciones en los productos de la nueva industria de biotecnologías (Rosenberg, 1991, pp. 3-4 y 17).

Duración y costos del proceso de innovación

En los anteriores informes sobre la innovación se insistía deliberadamente en el acortamiento espectacular del período que separa los avances científicos de su primera aplicación bajo la forma de productos o procedimientos de fabricación comercializados. Este punto ya está considerado como un logro definitivo. La interfase extremadamente pequeña entre la ciencia fundamental y las tecnologías de producción en áreas como la biotecnología o las tecnologías de la información (por ejemplo supra-conductividad y capacidad de almacenamiento de informaciones sobre los circuitos integrados)

confirma que, en la hora actual, por lo menos, la rapidez de ese pasaje es un rasgo distintivo del sistema de innovación contemporáneo. Hoy, el acento está puesto sobre todo en la duración de la fase de desarrollo y en los costos elevados de la innovación.

A cada fase del proceso de innovación corresponden gastos de inversión (véase recuadro 4). Esos gastos comprenden los gastos de equipamiento "clásicos" y los gastos de I+D, pero también un amplio rango de gastos correspondientes a las inversiones inmateriales. Esas inversiones son frecuentemente muy costosas y el tiempo juega un papel importante. En el campo de la electrónica, por ejemplo, la concepción y el desarrollo de circuitos integrados fiables y con alta capacidad de memoria han hecho explotar los umbrales que marcan la sobrevivencia comercial. En la industria de semiconductores, desde mediados de los años setenta, cada generación de tecnología supuso al menos duplicar la escala de inversión en I+D y en capital necesarios para afrontar la competencia (véase recuadro 5). Se observan tendencias similares en otros sectores "nuevos", tales como las pantallas de cristales líquidos, los programas de computación y las telecomunicaciones.

La duración de la fase de desarrollo y los costos crecientes de I+D son problemas que encontramos también en industrias más antiguas, como la automotriz y la aeronáutica. El tiempo promedio de desarrollo de un automóvil que incorpora un grado significativo de innovación técnica sobrepasa en todos

Recuadro 4. Las formas de la inversión en la innovación

Durante la fase de innovación, los gastos se vincularán principalmente con los siguientes aspectos: inversión en tecnología (I+D, licencias, concepción e ingeniería), activos fijos necesarios para la fabricación de productos en cantidad suficiente para su introducción en el mercado, pruebas de mercado y prospección comercial y, eventualmente, inversiones inmateriales preparatorias (formación de los trabajadores y reorganización de la producción). En la fase de expansión del mercado, se pondrá el acento en las inversiones en equipos fijos (innovación en los procedimientos) acompañadas por inversiones inmateriales complementarias (especialmente la formación de los trabajadores y los gastos consagrados a la reorganización de la producción) así como también las inversiones de comercialización ligadas a la producción a gran escala. Cuando los mercados para los nuevos productos hayan alcanzado su plena expansión y la competitividad esté determinada por el precio, se manifestará una fuerte presión para introducir nuevos procesos que permitan la racionalización y la reconstrucción. Esto requiere un aumento de las inversiones inmateriales complementarias para la formación y la reorganización y asimismo inversiones en el capital físico.

**Recuadro 5. Duración de la vida útil y costos crecientes
en la industria de los semiconductores**

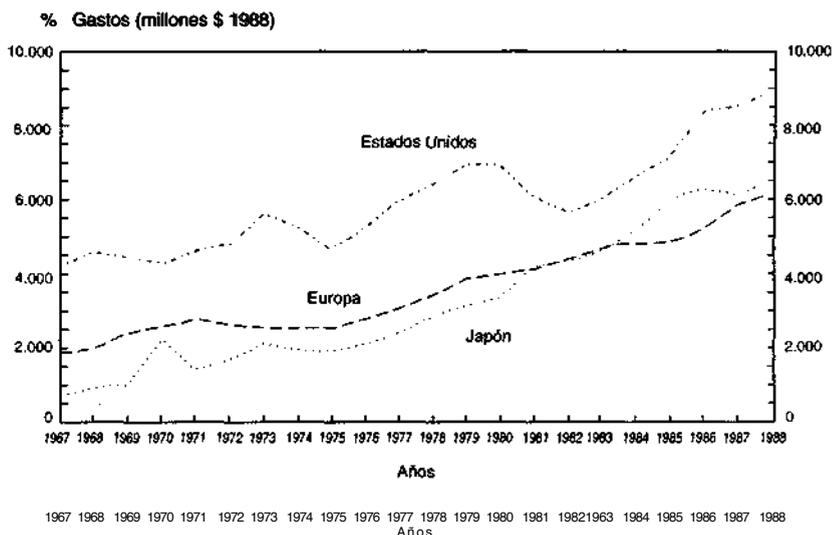
En la industria de los semiconductores, la tecnología evoluciona tan rápidamente que cada generación no permanece sino alrededor de cuatro años y la duración de vida económica de los bienes de equipamiento no excede más que raramente los cinco años. De manera que cada generación de I+D debería recomenzar al menos cinco años antes de la comercialización y debería coordinarse con el desarrollo de nuevos materiales y bienes de equipamiento, cuyas tecnologías han devenido también complejas e intensivas en capital. Todo fabricante de semiconductores que aspire a conservar o ganar una porción de mercado debe, en consecuencia, efectuar inversiones muy importantes. La tecnología actual necesita, en promedio, de 200 a 1.000 millones de dólares para cada generación de desarrollo de procedimientos, 250 a 400 millones de dólares por cada factor y 10 a 100 millones de dólares para cada sistema conceptual fundamental. Es previsible que esos costos se multipliquen todavía por dos de aquí a fines de los noventa, cuando el mercado mundial de semiconductores haya superado un valor de 100 mil millones de dólares (Ferguson, 1990).

los casos los cinco años en los Estados Unidos y un poco menos en Europa (respectivamente, 60 y 57 meses) y toma algo menos de cuatro años en Japón (46 meses). Para el mismo sector, se verifica que de la concepción a la explotación, el desarrollo de sistemas de fabricación flexible (SFF) requiere entre dos años y medio y tres en los Estados Unidos y alrededor de un año y medio en Japón (Womack et al., 1990, cap. 5). Actualmente se considera que ganar tiempo en la concepción y el desarrollo de nuevos modelos es un elemento esencial de la competencia entre los productores, pero la contracción de los períodos de concepción y de desarrollo se traduce hasta aquí en costos aumentados de I+D (véase Figura 2).

Los períodos de concepción y de desarrollo son aún más largos para los aviones civiles de gran tamaño y, contrariamente a lo que ocurre con los automóviles, continúan alargándose. La concepción y el desarrollo del Boeing 727 demandaron dos años y medio y han aumentado a casi seis años para el Boeing 767. Paralelamente a una duración de desarrollo más larga, los costos de I+D aumentaron de manera espectacular (véase recuadro 6).

La escala de inversiones necesarias para la innovación en una cantidad cada vez mayor de ramas industriales es uno de los motores de los procesos de concentración industrial y de globalización vinculados entre sí. Las redes interempresarias y las alianzas tecnológicas proveen medios para compensar

Figura 2. Gastos anuales de I+D para los vehículos a motor de las industrias automotrices de los Estados Unidos, Japón y Europa 1967-1988



Nota: Las cifras hacen referencia a los gastos mundiales de I+D de las empresas para la industria de vehículos a motor, reagrupadas según la implantación regional de su dirección. Así, los gastos mundiales de General Motors se reagrupan en la zona "Estados Unidos", mientras que los de Volkswagen pertenecen a Europa. Cifras en dólares constantes 1988, a la tasa de cambio de 1988.

Fuente: Womack *et al.* (1990).

parcialmente esta baja de los costos de I+D a través de una cooperación entre las empresas.

2. La producción de conocimientos científicos y técnicos

Por proceso de innovación entendemos la utilización, la aplicación y la transformación de conocimientos científicos y técnicos para resolver ciertos problemas concretos. A lo largo de los últimos treinta años, la innovación se enraizó profundamente en las actividades de las empresas en el conjunto de la zona OCDE. Aunque los centros de investigación públicos, los laboratorios

Recuadro 6. Concepción y producción de un avión moderno

Actualmente, la producción aeronáutica se vincula de manera muy estrecha (por su demanda de componentes y de piezas) con otros sectores de tecnología de punta. Una cabina o un motor de avión requieren la integración de varias tecnologías y de subsistemas de una extrema complejidad, especialmente la electrónica, la hidráulica y los materiales. La interacción de esos sistemas o componentes, en sí mismos complejos, es crucial para las *performances* del producto, pero es sumamente difícil de prever incluso con la ayuda de tecnologías de simulación y de concepción asistidas por computadora. Por eso, el desarrollo de productos de la aeronáutica (entre los cuales se incluyen los motores) es un proceso con fuerte intensidad de concepción, cuyas actividades representan una parte enorme de los costos totales y del tiempo consagrado a un proyecto de desarrollo. Las fluctuaciones rápidas del mercado contribuyen igualmente a prolongar la fase de concepción de los proyectos de desarrollo aeronáutico. Para intentar satisfacer las necesidades heterogéneas de los usuarios de los aviones de línea y de las instituciones de reglamentación, los principales constructores se ven obligados a realizar docenas de aviones "sobre planos" antes de lanzar el proceso de desarrollo de un proyecto específico.

Para la concepción del Boeing 272, ese proceso requirió dos años y medio y dio lugar a al menos nueve concepciones diferentes del avión. Para el Boeing 767, la fase de concepción duró cerca de seis años. Una vez que la concepción particular es adoptada por el productor, la rapidez es capital.

En consecuencia, los costos de desarrollo han aumentado de manera continua y rápida, bajo la influencia de los factores que acaban de ser examinados hasta aquí. Calculado en dólares constantes, el desarrollo del Douglas DC-3, en los años treinta costó aproximadamente 3 millones de dólares; el DC-8, comercializado en 1958, costó casi 112 millones de dólares, mientras que el desarrollo del Boeing 747, cuya producción se inició a comienzos de los setenta, llegó a 1.000 millones de dólares. Para tomar un ejemplo más reciente, se estima que el desarrollo del Boeing 767 costó casi 1.500 millones de dólares y las estimaciones de los costos de desarrollo de un aparato para larga distancia de 150 plazas alcanzan e incluso superan los 2.500 millones de dólares. El desarrollo del V2500, el reactor de doble flujo a tasa de dilución elevada previsto para ese avión de 150 plazas, debería demandar más o menos 1.500 millones (Mowery y Rosenberg, 1989, pp. 171-173).

universitarios y las organizaciones sin fines de lucro pueden contribuir notablemente y a menudo de manera decisiva (como en la biotecnología) a ciertos avances científicos e incluso tecnológicos, no desempeñan generalmente sino un rol marginal en la innovación comercial. Sin embargo, el éxito de una innovación semejante sigue siendo extremadamente dependiente tanto de la investigación fundamental de largo plazo y de su organización institucional como de las *ciencias de transferencia*, que constituyen un puente entre la investigación básica y la innovación industrial.

El papel central desempeñado por las empresas: la I+D industrial

Los gastos de I+D por empresa expresados como porcentaje del valor agregado han aumentado regularmente en todos los países. El rol de la innovación industrial en la competitividad y el crecimiento se traduce en la amplitud de los gastos de I+D realizados por el sector empresarial (véase Cuadro 1).

Desde comienzos de los años setenta, la sustitución creciente del financiamiento público por el financiamiento privado constituyó un cambio estructural fundamental en el financiamiento de la I+D. En ciertos países miembros de la OCDE, la I+D financiada por las empresas ya era predominante en los años sesenta y setenta: hoy lo es todavía más. En otros países que son los que más gastan en I+D (entre los cuales se cuentan los Estados Unidos), la proporción de la I+D financiada por las empresas era todavía relativamente modesta en comparación con la proporción de la I+D financiada por los poderes públicos. En la década del ochenta, esta última se ha vuelto tan importante como la primera, e incluso mayor. Hoy, como lo muestra el Cuadro 2, en la mayor parte de los países, alrededor de la mitad de los gastos registrados de I+D son financiados por las empresas. En ciertos países, esta fracción es considerablemente más elevada. Globalmente, el desplazamiento hacia el sector empresarial sigue siendo significativo.

La evolución hacia una I+D financiada por la industria es una de las razones que hicieron que la baja de los gastos de I+D observada a mediados de los años setenta sólo ocurriera en un periodo breve. La desaparición de muchos proyectos financiados por los poderes públicos fue rápidamente compensada por el crecimiento de los gastos realizados por el sector empresarial. A pesar de las fluctuaciones a corto plazo, los gastos de I+D expresados como porcentaje del PBI aumentaron en casi todos los países de la OCDE, sobre todo después de 1979, aun si subsisten diferencias importantes entre los países. En la mayoría de los casos, la industria se constituyó en el principal motor de este crecimiento. El establecimiento de las actividades ligadas a la innovación en las empresas y las ramas industriales en los países de la OCDE se manifiesta igualmente en el papel desempeñado por el sector empresarial en tanto empleador de mano de obra calificada científica y técnica en I+D, en la producción y en los diversos niveles de dirección. El porcentaje de investigadores empleados en la industria es ligeramente más bajo que lo que permitiría prever el porcentaje de gastos de I+D. La gran cantidad de profesores-investigadores que trabajan en la enseñanza superior y una sobreestimación probable de los efectivos realmente comprometidos en I+D explican este fenómeno. Las diferencias entre un país y otro pueden considerarse ligadas a las particularidades institucionales y culturales, pero también pueden reflejar simple-

Cuadro 1. Gastos de I+D efectuados por el sector empresarial

	% del PBI			% del DIRD*		
	1975	1981	1989	1975	1981	1989
Australia	0.23	0.25	0.52	23.2	25.0	41.5
Austria	0.47	0.65	—	50.8	55.8	—
Bélgica	0.84	/0.96	/1.18	64.2	—	/73.6
Canadá	0.41	0.60	/0.74	37.3	49.6	55.7
Dinamarca	0.45	0.54	0.84	44.2	49.7	55.0
Finlandia	0.48	0.65	1.11	52.1	54.7	60.8
Francia	1.06	1.16	1.40	59.6	58.9	60.3
Alemania	1.41	/1.70	2.10	63.0	/70.2	73.0
Grecia	—	0.05	0.10	—	22.5	/22.3
Islandia	0.03	0.06	0.12	2.9	9.6	16.1
Irlanda	0.25	0.32	0.49	30.6	43.6	56.8
Italia	0.47	0.49	0.74	55.7	56.4	57.1
Japón	56.6	60.7	69.7	1.14	1.41	2.12
Japón (aj)	62.7	66.0	74.3			
Holanda	1.08	1.00	1.32	53.6	53.3	/60.0
N. Zelanda	0.20	0.22	0.27	21.7	21.7	28.6
Noruega	0.64	0.68	/1.16	48.0	52.9	/60.8
Portugal	0.06	0.09	0.12	21.1	28.6	24.6
España	0.20	0.19	0.45	56.6	/45.5	56.3
Suecia	1.17	1.46	1.83	65.3	63.7	/66.2
Suiza	1.84	1.70	/2.14	76.7	74.2	74.8
Turquía	—	—	0.01	—	—	8.4
Reino Unido	1.27	1.49	/1.37	58.4	61.8	/66.6
Estados Unidos	1.53	1.72	1.98	65.9	70.3	70.2
Yugoeslavia	—	0.43	0.51	—	56.4	55.9

Notas: * Gasto interior bruto de I+D.

/ Rupturas de las series. 1: 1976. 2: 1980. 3: 1988. 4: 1987

Fuente: OCDE, Base de datos de la STIID.

mente las diferencias en el modo en que cada país presenta sus estadísticas relativas a la I+D.

Además, en numerosas ramas (se caractericen o no por una fuerte intensidad de I+D), solamente una parte de los esfuerzos tecnológicos desplegados por las empresas se consagran a instalaciones dedicadas a la I+D y se contabilizan como actividades de I+D. Los gastos de I+D declarados no son por lo tanto sino una representación indirecta del dinero que las empresas invierten para la innovación (de algún modo, *la punta del iceberg*). Ciertos estu-

Cuadro 2. Financiamiento de las empresas y del estado

Porcentaje del gasto bruto interno financiado por

	Empresas		Estado	
	1985	1989	1985	1989
Austria	49.1	52.5	48.1	44.9
Bélgica*	66.5	71.6	31.6	26.7
Canadá	40.8	41.5	47.5	44.9
Dinamarca	48.9	46.8	46.5	45.5
Francia	41.4	43.9	52.9	48.1
Alemania	61.8	65.1	36.7	32.8
Grecia	25.6	19.2	74.4	69.1
Irlanda*	46.0	51.3	45.8	38.4
Italia	44.6	46.4	51.7	49.5
Japón	68.9	72.3	21.0	18.6
Holanda*	51.7	53.4	44.2	42.7
Noruega	51.6	45.6	45.3	50.8
España*	47.2	47.5	47.7	48.8
Reino Unido	46.0	50.4	43.4	36.5
EE.UU.	50.0	49.6	48.3	48.3
Yugoeslavia	59.6	53.6	28.4	42.9

* 1988.

Fuente: OCDE, Base de datos de la STIID.

dios de caso sobre las industrias mecánicas y de transporte revelan que los datos sobre la I+D subestiman las actividades que procuran mejorar la tecnología en las ramas que fabrican productos a pedido (como cierto tipo de equipamiento mecánico), en las que, pese a su importancia, frecuentemente la concepción no se considera como parte de la I+D.⁵ A menudo, las pequeñas empresas de ingeniería mecánica y eléctrica no tienen servicios discriminados de I+D; estas empresas realizan importantes actividades innovadoras que pueden tanto omitirse como registrarse en las estadísticas de I+D. También es frecuente que la ingeniería de proceso, que reviste gran importancia en

⁵ Este punto, como otros en este apartado, se basa en Nelson y Rosenberg (1990).

muchas ramas industriales, no sea plenamente contabilizada como actividad de I+D (Sahal, 1981). Para completar los datos provistos por los informes oficiales sobre la I+D, un número cada vez mayor de países ha comenzado a realizar encuestas sobre innovación.

Según las diferentes ramas industriales, la innovación proviene de fuentes científicas y técnicas muy diferentes. Por lo tanto, ésta ocupa un lugar de importancia variable entre el conjunto de los factores que influyen sobre la rentabilidad y la competitividad. En ciertas ramas, las firmas expresan una fuerte demanda de tecnología provista por otros sectores industriales; en otros casos, les basta esencialmente con su propia I+D (Pavit, 1984). Esas diferencias entre una rama y otra se reflejan en las grandes brechas entre los gastos efectuados por las empresas para I+D, así como en las fuertes diferencias que encontramos en las intensidades de I+D según las ramas (véase Cuadro 3). Los datos relativos a las intensidades promedio de I+D en la industria manufacturera por países presentados en el Cuadro 4 traducen el hecho de que las industrias no tienen la misma especialización industrial y se encuentran en estadios diferentes del proceso de acumulación de las capacidades de I+D.

Se requieren importantes esfuerzos tecnológicos para reaccionar ante la evolución de las demandas de los usuarios o para no dejarse superar y utilizar nuevas tecnologías creadas *hacia atrás*. En las ramas industriales en que la tecnología evoluciona rápidamente, las empresas invierten a menudo fondos considerables en la vigilancia tecnológica para las innovaciones introducidas por sus competidores y por el progreso del saber científico y técnico fundamental y aplicado. En general, todos los grandes laboratorios de empresa se ocuparon de crear su propio *puesto de vigilancia tecnológica* interno y sus propios mecanismos de asimilación. Esto posee una importancia particular para las industrias que dependen fuertemente de transferencias de tecnología entre ramas.⁶ Este trabajo puede o no ser registrado como actividad de I+D pero, independientemente de los procesos contables, los laboratorios industriales de I+D tienen igualmente por misión facilitar la introducción de conocimientos científicos y técnicos en el interior de la firma. Asimismo, sus redes de relaciones con los laboratorios universitarios se han presentado con frecuencia como *ventanas* abiertas a las nuevas evoluciones en ciencia y tecnología. El conjunto de esas observaciones tiene como resultado una nueva

⁶ Un estudio de las actividades ligadas a la innovación y de las inversiones de grandes firmas agro-alimentarias, en particular Unilever y Nestlé, incluyendo la organización de puestos de vigilia y el rol del departamento de ingeniería y de medios en I+D, puede encontrarse en OCDE (1979).

**Cuadro 3. Intensidad de gastos de I+D según la zona de la OCDE
Ponderación de 11 países*. Gastos de I+D como porcentaje
del valor de la producción**

1970		1980	
ALTO		ALTO	
1. Aeroespacial	25.6	1. Aeroespacial	22.7
2. Máquinas de oficina, computadoras	13.4	2. Máquinas de oficina, computadoras	17.5
3. Material electrónico y accesorios	8.4	3. Material electrónico y accesorios	10.4
4. Productos farmacéuticos	6.4	4. Productos farmacéuticos	8.7
5. Instrumental científico	4.5	5. Instrumental científico	4.8
6. Máquinas eléctricas	4.5	6. Máquinas eléctricas	4.4
MEDIO		MEDIO	
7. Productos químicos	3.0	7. Vehículos automotores	2.7
8. Vehículos automotores	2.5	8. Productos químicos	2.3
9. Otras industrias manufactureras	1.6	9. Otras industrias manufactureras	1.8
10. Refinerías de petróleo	1.2	10. Máquinas no eléctricas	1.6
11. Máquinas no eléctricas	1.1	11. Caucho, materiales plásticos	1.2
12. Caucho, materiales plásticos	1.1	12. Metales no ferrosos	1.0
BAJO		BAJO	
13. Metales no ferrosos	0.8	13. Piedras, arcilla, vidrio	0.9
14. Piedras, arcilla, vidrio	0.7	14. Productos alimenticios, bebidas y tabaco	0.8
15. Construcción naval	0.7	15. Construcción naval	0.6
16. Metales ferrosos	0.5	16. Refinerías de petróleo	0.6
17. Productos metálicos elaborados	0.3	17. Metales ferrosos	0.6
18. Madera, muebles	0.2	18. Productos metálicos elaborados	0.4
19. Productos alimenticios	0.2	19. Madera, muebles	0.3
20. Textiles, calzado, cuero y piel	0.2	20. Papel, materiales de impresión	0.3
21. Papel, materiales de imprenta	0.1	21. Textiles, calzado, cuero y piel	0.2
* Alemania, Bélgica, Canadá, Estados Unidos, Francia, Japón, Países Bajos, Reino Unido y Suecia.			

Cuadro 4. Gastos en I+D de las industrias manufactureras en porcentaje del valor agregado

	1971	1975	1979	1981	1983	1986
EE.UU.	5.7	5.4	4.9	5.9	6.9	7.6
Japón	2.8	3.4	3.7	4.5	4.8	5.6
Alemania	3.4	3.7	4.5	4.3	4.8	5.2+
Francia	3.5	3.6	3.7	4.2	4.5	5.0+
Reino Unido	4.5	4.3	4.3	4.9	4.7	4.9+
Italia	1.5	1.5	1.5	1.9	3.0	3.2++
Holanda	4.1	4.5	4.6	5.3	6.2	6.5
Bélgica	2.1	2.9	3.2	3.7	4.1	4.4+
Dinamarca	—	—	2.3	2.6	2.0	3.2+
Irlanda	—	0.1	0.1	0.3*	—	—
Grecia	—	—	—	0.2	—	0.4
Portugal	—	—	0.2	0.4	—	—
España	—	—	—	0.6	0.8	1.2+
Canadá	2.1	1.7	1.9	2.7	—	—
Australia	0.4*	0.6	0.8	0.8	—	1.4+
N. Zelanda	0.6	0.7	0.7	0.6*	0.6	—
Austria	0.1	1.5	1.9*	2.1	2.3*	2.9+
Finlandia	1.8	1.7	2.0	2.4	2.9	3.2+
Noruega	1.6	2.0	2.4	2.6	2.9	3.7
Suecia	3.6	3.9	5.4	6.3	6.3	7.0
Suiza	—	—	—	6.5*	—	7.4*

* Estimación del Secretariado

+ : 1985 ++ : 1984

Fuente: OCDE (1989)

comprensión de los vínculos entre la producción de nuevos conocimientos científicos y técnicos y su asimilación y difusión.

En el caso de nuevas economías industriales (NEI) y de países en desarrollo, encontramos una dimensión suplementaria de esas relaciones. Estudios de caso, sector por sector y país por país, han revelado ya hace bastante tiempo que para ellos una innovación puede muy bien consistir en aprender a fabricar productos o en emplear tecnologías ya en uso desde hace mucho en las economías industriales. Los economistas especializados en el estudio del cambio tecnológico reconocen que este aprendizaje puede requerir considerables esfuerzos tecnológicos. En el caso de las NEI, la ingeniería reversa -aprender a producir desmontando los productos y los procesos para comprender su funcionamiento- puede demandar un esfuerzo intelectual conside-

rabie. Aun cuando generalmente no se la contabiliza como tal, la ingeniería reversa se acerca mucho al desarrollo y podría considerarse como I+D. A medida que las empresas y los países se actualizan, este tipo de actividad se relaciona cada vez más con la producción y comienza a ser contabilizada como actividad de I+D.

El financiamiento de la investigación fundamental a largo plazo y su organización institucional

A partir de la Segunda Guerra Mundial hasta mediados de los años sesenta, la investigación fundamental ha sido subvencionada en gran escala por los poderes públicos. Este apoyo se fundaba, obviamente, sobre el ejemplo de muchas invenciones militarmente decisivas de las décadas anteriores que se realizaron, tanto para destruir (la bomba atómica y los misiles de largo alcance), para salvar vidas humanas (la penicilina), como para la organización de operaciones (la investigación operacional e informática). Luego, la investigación fundamental recibió un sostén financiero -pero también político- más débil por parte de los poderes públicos.

Los poderes públicos comprobaron un creciente interés de parte de los industriales por la investigación universitaria y su disposición para financiar ciertas actividades en función de sus propias necesidades y según sus propias condiciones. Debido a las dificultades presupuestarias, muchos gobiernos tendieron a reducir su apoyo a la ciencia, en particular a la investigación fundamental, desarrollada con el presupuesto de la educación superior, esperando que esta reducción pudiera ser compensada por la industria.

Las universidades fueron alentadas para procurar el apoyo de los industriales bajo todas las formas posibles, especialmente mediante la ejecución de contratos de I+D a corto plazo o la realización de trabajos de reparación para empresas desprovistas de instalaciones técnicas internas apropiadas. Esto explica los resultados que aparecen en el último informe de la OCDE sobre los Indicadores de la ciencia y la tecnología.⁷

a) de 1975 a 1985, los gastos de I+D del sector de educación superior tuvieron una tasa anual de crecimiento que no superó el 3,5% (contra el 5% para el gasto bruto interno en I+D) y el 6% para la I+D industrial. Por lo tanto, la parte del sector de la educación superior en el esfuerzo total de I+D de los paí-

⁷ Véase la sección sobre I+D en la educación superior en OCDE (1989).

ses de la OCDE disminuyó. Las cifras más recientes publicadas en 1990 confirman esta tendencia;

b) un análisis más profundo ha mostrado que durante los años ochenta, esas cifras habrían podido ser menores si en los Estados Unidos (país donde los gastos en I+D en la educación superior representan alrededor del 43 % del total invertido por los países de la OCDE en ese sector) las universidades no hubieran recibido contratos sustanciales de I+D por parte de la *Space Defense Initiative Agency* del Ministerio de Defensa;

c) la estructura del financiamiento de la I+D universitaria evolucionó progresivamente, disminuyendo la proporción de "créditos generales" en favor de un financiamiento público directo, frecuentemente para programas con un perfil económico, social o regional determinado.

En consecuencia, en muchos países, la I+D del sector de la educación superior como porcentaje del crecimiento nacional de gastos en I+D se debilitó, a veces de manera muy radical (Figura 3). Entre las economías principales, los Estados Unidos constituyen una excepción y respecto de los otros países, se comprueba especialmente que la I+D realizada por la educación superior ha aumentado recientemente en Canadá.

Esa evolución de las políticas gubernamentales puede reflejar algunas incomprensiones en cuanto a la naturaleza y a la función de la investigación a largo plazo o investigación de base, y a las condiciones que favorecen el éxito de esa investigación. En las condiciones de la producción industrial moderna, la puesta a punto y la explotación de conocimientos científicos apropiados forman parte integral y son con frecuencia una condición necesaria del desarrollo de un nuevo paradigma tecnológico. Durante las primeras fases, los progresos científicos desempeñan un rol primordial y las relaciones entre la ciencia y las actividades técnicas prácticas son extremadamente estrechas. Es así que desde las primeras décadas del siglo XIX, los cambios en los paradigmas tecnológicos fundamentales de la producción industrial y de los sistemas de comunicación derivaron cada vez con mayor frecuencia de progresos científicos anteriores, especialmente en el campo de la química y la electricidad. Los primeros pasos de la microelectrónica lo demostraron puesto que, en lo que concierne a los semiconductores, el descubrimiento de ciertas propiedades ligadas a la mecánica cuántica (que, por otra parte, ha valido a sus autores un premio Nobel de física) se confundió totalmente en sus inicios con el desarrollo tecnológico del primer dispositivo microelectrónico.

Desde fines de los años setenta, ese tipo de relaciones se instauró nuevamente de un modo importante y casi espectacular en la ingeniería genética y la biotecnología. Un estudio bibliométrico, realizado a mediados de los años ochenta y publicado con un título revelador *-¿La tecnología se vuelve ciencia?-* mostró que los

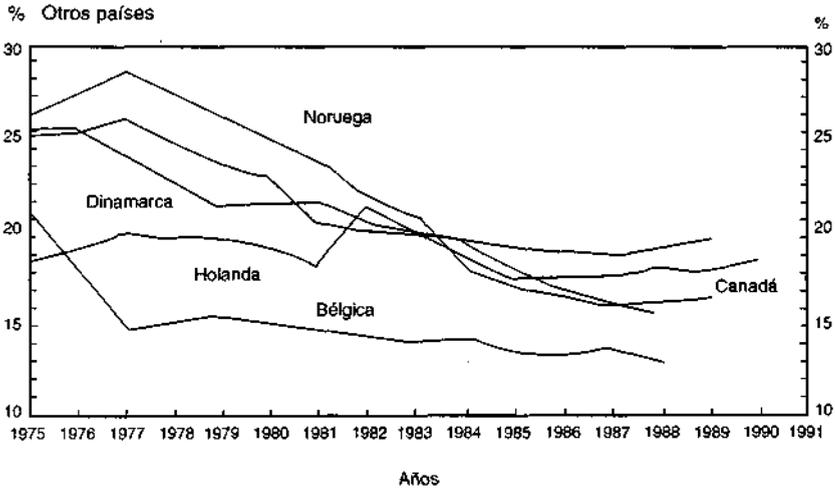
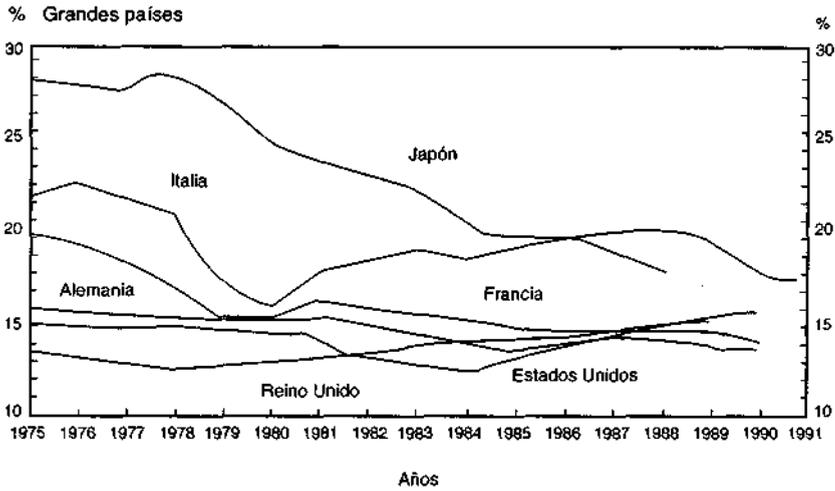
[...] desarrollos científicos de los cuales depende una tecnología patentada, al menos en las patentes vinculadas con la biotecnología, la preceden por muy poco. En verdad, estos desarrollos científicos son casi tan recientes como la tecnología patentada a la cual se hace referencia en esas patentes. Además, si se admite que hacen falta uno o dos años suplementarios para hacer el registro de una patente, las comunicaciones citadas en el proceso son casi tan recientes como las que ellas mismas dan como referencia. Esas patentes relativas a la biotecnología no se establecen a partir de antiguos datos científicos codificados que se encuentran en los tratados y otras obras de referencia, sino a partir de la ciencia de cada día, a medida que ésta emerge de los laboratorios de investigación [...] (Narin y Noma, 1985, p. 3).

Por esta razón, los laboratorios universitarios deben y deberían recibir contratos de I+D del sector privado o público para realizar actividades técnicas o trabajos de desarrollo. Sin embargo, esos contratos y los fondos correspondientes no deben sustituir a los créditos generales para investigación fundamental, sino agregarse a ellos. Estos no reemplazan y no pueden reemplazar los fondos consagrados a aumentar la suma de conocimientos fundamentales que son necesarios para todos los agentes del proceso económico, en el cual las empresas se sitúan en primera línea.

En efecto, la investigación fundamental de calidad conducida a una escala que permite lograr progresos científicos de envergadura no está al alcance más que de unas pocas empresas.⁸ Este tipo de investigación requiere montos elevados de inversión en I+D y un ambiente de investigación interno a la firma que contribuye al desarrollo y al debate de ideas en total libertad con otros investigadores. Además, los conocimientos desarrollados en el interior de las empresas hacen surgir problemas relativos a la propiedad industrial. Por todos esos motivos, la constitución de conocimientos científicos de tipo predictivo (véase más arriba) totalmente públicos, accesibles a todos los actores del proceso de innovación y en particular a las pequeñas empresas que no pueden mantener laboratorios de I+D, debe tener lugar en el marco de ins-

⁸ Los laboratorios Bell proveen algunos ejemplos espectaculares. A fines de los años veinte y comienzos de los treinta, la investigación pionera de Jansky sobre el nuevo radio-teléfono transatlántico tenía como primer objetivo disminuir o eliminar el ruido de fondo y, por lo tanto, mejorar la calidad de las comunicaciones. Pero el descubrimiento de lo que llamó el "ruido de estrella" (*bruit d'étoile*) marcó el nacimiento de la "radio-astronomía". Más recientemente, la investigación fundamental en el mismo rubro permitió a Penzias y Wilson, en un trabajo cuyo objetivo inicial consistía en mejorar la calidad de las transmisiones por satélite, descubrir elementos de confirmación de la teoría del "Big Bang" relativos a la formación del universo. Para un análisis más profundo y más ejemplos, véase Mowery y Rosenberg (1989, pp. 12-13).

Figura 3



Fuente: OCDE, sobre la base de datos de STIID, junio de 1991.

tituciones especialmente concebidas para la producción de conocimientos fundamentales, generales, precisos y públicos.

Las principales instituciones establecidas para la sociedad occidental para cumplir con este objetivo han sido las universidades, las sociedades de expertos y las academias. Esas instituciones proveyeron la base deontológica sobre la cual se establece la ciencia, especialmente en cuanto a las normas profesionales, las actitudes y los códigos de comportamiento que rigen la divulgación y la transmisión de nuevos conocimientos.⁹ Pero a causa del débil sostén de los gobiernos y de sus relaciones cada vez más estrechas con la industria, la ciencia, considerada como una institución independiente, con sus reglas específicas de deontología, está sometida a crecientes y notables presiones. En particular, el principio de la divulgación completa y rápida de nuevos conocimientos resulta violado con mayor frecuencia. Pueden lograrse beneficios financieros conservando en secreto ciertos conocimientos científicos vitales y sacándolos del laboratorio para llevarlos a un marco industrial en donde las empresas están en condiciones de retribuir la producción de conocimientos mediante una participación en los beneficios.

Es normal que los ministros de finanzas y los responsables de las políticas científicas y tecnológicas se preocupen por las prioridades necesarias de la investigación y por los mecanismos más apropiados para determinar las prioridades en materia de I+D. Un estudio reciente de la OCDE sobre las instituciones y los mecanismos de establecimiento de prioridades reconoce ese problema. El estudio revela un cierto número de tendencias comunes a los países de la OCDE, aun a pesar de su gran diversidad institucional (OCDE, 1991). Contiene sugerencias útiles para mejorar los mecanismos empleados, que hacen intervenir casi sistemáticamente una cooperación estrecha entre los científicos (quienes hacen evaluar sus proyectos por sus pares) y quienes están a cargo de las decisiones (los cuales recurren a criterios económicos y sociales para establecer las prioridades). Eso puede contribuir a evitar los argumentos que permiten adjudicar al sistema de investigación la responsabilidad por el debilitamiento de la investigación fundamental.

⁹ El papel que cumple la divulgación en la disponibilidad y la fiabilidad de los conocimientos es importante y puede ser subestimado. Véase Dasgupta y David (1988, pp. 19 y 29):

Divulgando un conocimiento, se aumenta la duración probable de su utilidad. En otros términos, la divulgación aumenta el valor de los nuevos descubrimientos y de las invenciones para la colectividad, reduciendo los riesgos de que permanezcan en manos de personas y de grupos que no poseen los recursos necesarios para explotarlos. En segundo lugar, la divulgación permite a los científicos de una misma disciplina analizar y evaluar los nuevos conocimientos, lo cual reduce el margen de error.

De todas maneras, el problema central no se sitúa en la elección de las prioridades científicas. Este reside en el hecho de que los niveles de salario y el estatus social del personal de investigación no industrial reflejan prioridades políticas y sociales más amplias. Sin embargo, es crucial mantener una oferta adecuada de personal científico y técnico. Existen dos aspectos interdependientes. El primero se relaciona con la necesidad de garantizar al conjunto de la economía, gracias al sector de educación superior, el suficiente personal calificado para las tareas ligadas a la producción y para los diversos tipos de investigación. El segundo aspecto corresponde a la necesidad de asegurar al sistema de investigación *stricto sensu* y al sector de educación superior en particular las condiciones que permiten proveer el personal necesario para mantener y extender la base de conocimiento. Esto quiere decir que es preciso que los salarios de los investigadores universitarios y sus colaboradores sean cercanos a los que se pagan en la I+D industrial, lo cual no es el caso en la mayor parte de los países de la OCDE. ESO permitirá continuar la producción de conocimientos nuevos libremente disponibles con el más alto nivel de calidad y perfección.

Si la remuneración de los trabajos universitarios destinados a producir saber, tanto abriendo caminos de investigación totalmente nuevos, como reforzando el carácter "exacto" de la ciencia en áreas vitales, continúa cayendo en comparación con los salarios pagados en la I+D industrial, los resultados son fácilmente previsibles (Dasgupta y David, 1988). El debilitamiento de la investigación universitaria obligaría a los ingenieros a intentar resolver los problemas de producción ligados a la tecnología por caminos más complicados que lo necesario, lo que incrementaría los costos de desarrollo; las grandes empresas que poseen laboratorios muy avanzados buscarían producir una parte de los conocimientos de base por su propia cuenta, pero esos trabajos serán secretos y por lo tanto se multiplicarán vanamente las actividades de I+D, en busca de los mismos resultados. Las empresas dispondrán de los conocimientos que son de su propiedad exclusiva en las condiciones que ellas mismas fijarían. Sobre esta base se intercambian ya entre firmas conocimientos tácitos o semicodificados, pero crear condiciones económicas y sociales para extender estas reglas de juego al conjunto de la producción de conocimientos tendría consecuencias sumamente serias.¹⁰

¹ Dasgupta y David (1988) insisten en la cuestión con elocuencia:

El fondo común de saber es un aporte esencial en la producción de nuevos conocimientos. Por eso la tecnología se inspira tan largamente en los fundamentos teóricos provistos por la ciencia. Llevando las cosas al extremo, si la ciencia debiera cesar sus actividades, tecnológicamente hablando, cada empresa

Ciencias de transferencia

Una vez reafirmada la dependencia de la sociedad industrial respecto de la ciencia fundamental, se debe prestar atención a las disciplinas susceptibles de establecer un puente entre el tipo de conocimiento producido por la ciencia fundamental y el tipo de conocimiento necesario para las firmas y para los administradores en su actividad cotidiana. Los laboratorios de I+D industrial y las asociaciones de investigación específicas de una rama industrial son instituciones surgidas del sector industrial que tienen por vocación el establecimiento de ese puente, pero ese acercamiento debe estar igualmente organizado a partir de laboratorios universitarios y centros de investigación públicos. Este esfuerzo puede ser complementario a las medidas tomadas por el sector industrial o puede ser una iniciativa necesaria cuando las empresas no están aún dispuestas a tomar ellas mismas las medidas necesarias para acortar la distancia existente. Históricamente, por ejemplo, los gobiernos han actuado de manera particularmente activa en la agricultura, área en la que alentaron el desarrollo de la agronomía, la formación de ingenieros agrónomos y la puesta en marcha de servicios de difusión tecnológica. Por lo tanto la agricultura logró una larga y particularmente exitosa serie de realizaciones en materia de creación de "ciencias de transferencia" bajo formas apropiadas¹¹

se encontraría, *grosso modo*, tributaria de su propio fondo de conocimiento. Eso obstaculizaría enormemente el proceso tecnológico, en la medida en que la mayoría de las empresas pertenecientes a ramas de industria dependientes de la ciencia estarían obligadas a sobreocuparse realizando actividades de investigación. Por supuesto, los responsables son conscientes de la importancia considerable del papel de la ciencia para los técnicos, en la producción de bienes destinados al público. Por eso vemos grupos de empresas con vocación tecnológica asociarse a su propio movimiento para apoyar actividades reglamentadas por las normas en vigor en el mundo científico (pp. 52-53).

En sentido contrario, ciertos gobiernos han comenzado a descuidar peligrosamente el peso de la ciencia en la producción de bienes destinados al público y su rol social. Según Dasgupta y David:

El argumento invocado es que si es necesario que se realice una investigación de alguna utilidad, ella se realizará en tanto que I+D industrial, por organismos especializados en la tecnología, a menor costo y sin demandar fondos públicos. Para hablar simplemente, eso revela un desconocimiento consternante de la dimensión socio-económica de la ciencia y de la tecnología. En tales condiciones (de privatización de la actividad científica), el crecimiento económico moderno podría todavía continuar alimentándose en las fuentes de conocimientos científicos y tecnológicos, pero perdería el carácter continuo que según numerosos autores lo distingue fundamentalmente del modo en que evolucionaba la economía anteriormente (p. 58).

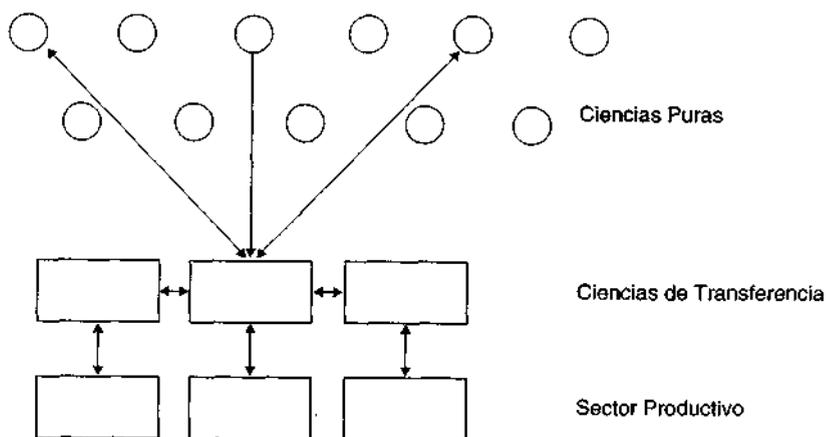
¹¹ La expresión "ciencias de transferencia" fue inventada y desarrollada en el Centre National de la Recherche Scientifique (CNRS) en Francia. Ha sido utilizado en el CNRS con una óptica estratégica desde mediados de los años setenta. Véase la historia reciente del CNRS, publicada en ocasión de su 50 aniversario: Picard (1990), pp. 262-263.

La noción de ciencias de transferencia aborda de manera metódica el establecimiento de *pasarelas* entre la ciencia y la tecnología. Esta noción supone una distinción entre dos grupos de ciencias: "las ciencias puras" y las "ciencias de transferencia". Las características de las "ciencias puras" comprenden el carácter fundamental de sus actividades (la exploración de las fronteras del conocimiento sin preocuparse por las incidencias prácticas de los resultados), sus reglas y códigos de comportamiento relativos a la divulgación y la confirmación de los conocimientos, su origen (universidades o laboratorios públicos estrechamente vinculados con las universidades), su financiamiento (principalmente a partir de fondos públicos) y su prioridad en relación con la formación (la formación de investigadores para su acceso a los laboratorios consagrados al estudio de ciencias fundamentales). Los temas abordados por esas disciplinas pertenecen esencialmente a las áreas de las ciencias físicas y biológicas y los científicos que se dedican a ellas forman comunidades sólidas a escala nacional e internacional.

Las "ciencias de transferencia" (que engloban las diversas ramas de la ingeniería o ciencias tecnológicas) tienen en común con las ciencias puras el interés por la "ciencia exacta"; aparte de esto, ambas tienen características relativamente diferentes: su actividad está principalmente guiada por el deseo de resolver problemas surgidos de actividades sociales o económicas, sus centros de investigación se sitúan en las universidades técnicas, las escuelas de ingenieros, los establecimientos sectoriales de I+D públicos y la industria, el sector industrial asegura una buena parte de su financiamiento, sus investigadores son normalmente empleados por la industria. Esas ciencias de transferencia abordan temas ampliamente ligados a objetos y fenómenos artificiales y las comunidades de investigación en esas áreas están muy próximas de las profesiones más interesadas por la aplicación de sus resultados. Sería erróneo, como en el caso de las ciencias tecnológicas (que sin duda deben clasificarse dentro de las ciencias de transferencia) considerar esas ciencias como simples "ciencias aplicadas" situándose *hacia adelante* de la "ciencia fundamental". La existencia de *pasarelas* en la estructura de las ciencias de transferencia no quiere decir que no se trate de áreas dotadas con sus propios principios de organización interna.

Las ciencias de transferencia desempeñan un papel esencial sirviendo de interfase entre el mundo de las "ciencias puras" y el de la industria (Figura 4). Se ocupan de problemas concretos que se presentan efectivamente en todos los campos de la actividad humana. Consideradas como "áreas" o "disciplinas", las ciencias de transferencia pueden extender las fronteras clásicas que separan la "ciencia" de la "tecnología" (véase recuadro 7): las mismas estructuras de organización (tanto si se trata de empresas como de universidades) pueden, en ciertos casos, engendrar *innovaciones* simultáneamente en

Figura 4



Fuente: OCDE, sobre la base de datos de STIID, junio de 1991.

los conocimientos tecnológicos y científicos. Sus fronteras no son siempre netas, a menudo son pluridisciplinarias (por ejemplo, las ciencias de los materiales) y su desarrollo analítico refleja en gran parte las necesidades sociales y económicas. Esas disciplinas desempeñan las funciones de toda disciplina científica (es decir, creación, transmisión y organización de ciertos tipos de conocimiento) y tienen también por objetivo llevar a cabo o mejorar proyectos técnicos. Desde el punto de vista de la sociología de las ciencias, ellas hacen intervenir "comunidades híbridas" (Blume, 1990) constituidas por personas que poseen los mismos conocimientos generales y la misma formación inicial, algunas que trabajan en el marco de la "ciencia pura", o al menos cerca de ella, y otras en la industria.¹² Por su importancia creciente y su complejidad,

¹² Las ciencias sociales son un caso aparte: a la vez disciplinas teóricas fundamentales y disciplinas de transferencia. La "ingeniería social" no ha alcanzado el estatuto de disciplina reconocida e institucionalizada pese a los numerosos ejemplos de aplicación de la psicología, de la sociología y la economía. Los aportes de las cien-

Recuadro 7. Presentación inicial de las ciencias de transferencia

A. Áreas de la ingeniería:

- Ingeniería mecánica (fluidos, sólidos), ingeniería civil, ciencia geotécnica.
- Ciencia térmica, termodinámica, ciencia de combustiones.
- Ópticas, ciencias del láser, ingeniería eléctrica.

B. Áreas ligadas a las tecnologías de la información:

- Microelectrónica, automatización y robótica.
- Ciencia informática.

C. Áreas ligadas a la química:

- Ciencia de los materiales, ingeniería química.
- Química de base (toda la química con excepción de ciertos sectores como la química cuántica, la bioquímica y la geoquímica).

D. Áreas ligadas a la medicina, la farmacia y la agronomía:

- Biotecnología, microbiología, química farmacéutica, investigación química, ciencias de la tierra y diferentes sectores agronómicos.

E. Ciertas áreas de las ciencias sociales que requieren una definición más precisa.

Fuente: OCDE, sobre la base de sugerencias efectuadas por Blume (1990).

la política científica debería tener como objetivo, entre otros, la creación y el apoyo de una red de relaciones y vínculos entre los diferentes tipos de instituciones, es decir, entre aquellas que producen y aquellas que utilizan la investigación.

ciencias sociales favorecen el desarrollo de proyectos técnicos (por ejemplo los arquitectos han recurrido a ellas tanto como a las ciencias "exactas"), pero producen también sus propias realizaciones bajo la forma de interpretaciones del funcionamiento de la sociedad. Aquí tampoco son unívocas las relaciones entre una disciplina y una profesión conexas. Sin duda, los sociólogos y los economistas emplean conceptos tomados de la sociología y la economía, pero se sirven igualmente de herramientas proporcionadas por las matemáticas, las ciencias biológicas o la psicología. Como en los progresos técnicos, para avanzar en la resolución de problemas sociales, son necesarias investigaciones pluridisciplinarias.

3. Continuidades y discontinuidades de la tecnología

Los dos modos tradicionales de describir los principales determinantes del cambio técnico son los de la atracción creada por la demanda y del impulso ejercido por la tecnología. El primero refleja el carácter central de las fuerzas del mercado en la orientación de la tecnología, las variaciones de la demanda, de los costos, de los precios y las oportunidades de beneficio que influyen sobre las motivaciones de las empresas y hacen progresar el avance técnico. El segundo atribuye a los avances autónomos de la ciencia pura y de la capacidad tecnológica, y más generalmente al campo del saber, el rol principal en la innovación.¹³ Los dos enfoques presentan problemas.¹⁴

El enfoque sintético, el más prometedor, reconoce al proceso de innovación "funcionamientos propios" que no pueden ser descriptos como simples respuestas flexibles al cambio de las condiciones de mercado y de la base científica de la industria. La definición más completa de un contexto económico que determina los progresos tecnológicos y en el cual la tecnología y la política pública interactúan, debe tener en cuenta las variaciones de la demanda del mercado, de los precios y de la rentabilidad, así como también el rol de las instituciones y de los factores de orden sistémico. El "aspecto acumulativo" de la tecnología, la noción de "trayectorias tecnológicas" y la de "rendimientos crecientes de adopción" deben todos considerarse como parte de este abordaje más amplio.

¹³ Para un análisis detallado de esas dos hipótesis, véase Kamien y Schwartz (1982).

¹⁴ El enfoque basado en la "atracción de la demanda" (*demandpull*) supone una visión reaccionaria y mecánica del cambio de las técnicas productivas, definiéndose el contexto económico de manera demasiado estrecha en términos de mercados representados por las variaciones de precios, costos y rentabilidades y en términos de "necesidades de los usuarios". El enfoque es incapaz de tomar en cuenta las discontinuidades y los elementos exteriores al mercado que caracterizan la naturaleza extremadamente particular del proceso de innovación (Mowery y Rosenberg, 1979). Las dificultades del abordaje en términos de impulso tecnológico (*technology push*) son opuestas pero largamente complementarias. En lugar de introducir el rol de las instituciones y la interacción de factores ligados o no al mercado en el proceso de innovación, las teorías del impulso tecnológico ignoran los factores económicos y dan una explicación lineal y unidireccional de la relación ciencia-tecnología-producción. El crecimiento de la base científica se presenta como determinado de manera exógena y no se hace ningún intento por ponerlo en relación con la evolución de las tecnologías o con las modalidades industriales, institucionales o de mercado que lo fundamentan.

Los aspectos acumulativos de los conocimientos científicos y técnicos

En el curso de los últimos diez años, se ha puesto de relieve con frecuencia la aptitud de la tecnología para provocar cambios radicales. En otros trabajos se hace énfasis, de manera igualmente enérgica, en los caracteres multiformes, a menudo "incremétales" y necesariamente acumulativos, de la tecnología. A lo largo del TEP, se han subrayado estos últimos aspectos y también las relaciones que vinculan la tecnología con ciertas transformaciones estructurales y con cambios organizacionales importantes. La importancia atribuida al carácter acumulativo de la tecnología sirve para subrayar el hecho de que para desarrollar y utilizar plenamente nuevas tecnologías, son necesarios procesos de aprendizaje largos y complejos, tanto por parte de las empresas que originan la innovación como por parte de las empresas que se confrontan con la nueva tecnología en fases ulteriores de su desarrollo, en relación con el proceso de difusión (véase recuadro 8). Esos procesos de aprendizaje comprenden el aprendizaje por la práctica (por ejemplo, aumentar la eficacia de operaciones de producción), el aprendizaje por el uso (por ejem-

Recuadro 8. El crecimiento de los conocimientos: el efecto "bola de nieve"

Para describir el proceso que alimenta el *stock* de conocimientos y de tecnologías, podemos servirnos de la imagen de la bola de nieve. Para que la bola de nieve pueda rodar y crecer, debe darse un cierto número de condiciones:

- Es preciso disponer desde el comienzo de una masa crítica: una base de conocimientos/tecnologías es indispensable para entrar en el círculo virtuoso de la tecnología y el crecimiento; cuando esta masa crítica no existe o es insuficiente, los poderes públicos tienen que ayudar a su creación y comenzar a hacer rodar la bola de nieve.
- La bola tiene que encontrar nieve en su trayectoria: hace falta un contexto rico en conocimientos libremente accesibles, es decir, un contexto que ofrezca abundantes elementos producidos por un conjunto denso de redes formales e informales. Los poderes públicos deben ocuparse de controlar que ese tipo de conocimientos se encuentren públicamente disponibles.
- La bola debe poder aumentar y adquirir así velocidad: la capacidad de absorción de las empresas es esencial para transformar un contexto favorable en ventajas económicas reales; la acción pública puede contribuir en ese plano al desarrollo de la capacidad de las empresas para utilizar los conocimientos disponibles fuera de ellas.

pío, utilizar más eficazmente sistemas complejos), el aprendizaje por la interacción (asociando usuarios y productores en una interacción que supone innovaciones en los productos) e incluso el "aprendizaje por el aprendizaje", donde la capacidad de las empresas para asimilar las innovaciones realizadas fuera de ellas depende de su experiencia en materia de aprendizaje, enriquecida ésta misma por la I+D o por otras inversiones inmateriales (Cohen y Levinthal, 1989).

Las empresas, instituciones y países que habrán tenido la ocasión de adquirir las calificaciones requeridas y de crear la base necesaria para el aprendizaje acumulativo tendrán mayor capacidad para adaptarse en períodos de transición. En efecto, si el cambio tecnológico torna obsoletos los equipos y ciertas calificaciones técnicas precisas, no tiene poder para destruir las instituciones o empresas, ni tampoco los conocimientos que se han acumulado en ellas a través del aprendizaje institucional.¹⁵ No es sino a partir de recortes presupuestarios radicales, malas gestiones o fusiones y adquisiciones realizadas sin tener en cuenta el aprendizaje acumulado en el seno de las organizaciones y firmas en cuestión, que las bases sobre las cuales ha tenido lugar el aprendizaje tecnológico pueden ser destruidas.

En la medida en que la acumulación tecnológica y la larga elaboración de calificaciones se han realizado a través de procesos de aprendizaje internos a las empresas o en relación inmediata con su actividad, las firmas tendrán posibilidades válidas de reestructurarse, de adaptarse y de sobrevivir al cambio tecnológico radical. Es lo que ocurre cuando la base de aprendizaje existe de manera aislada (como en el caso de las firmas pequeñas de construcción mecánica o eléctrica) o combinada con características de tamaño, financieras o relativas a un cierto grado de poder de mercado (para las más importantes). Los trabajos sobre empresas multinacionales muestran un grado actual bastante elevado de estabilidad en el grupo de empresas líderes, atribuible en buena parte a la acumulación tecnológica que supieron efectuar (Cantwell, 1989). Esta acumulación permite explicar la fuerza que la "causalidad inversa" (Nelson, 1981b) (es decir, el refuerzo más que el debilitamiento de la concentración, en un contexto de cambio técnico) viene significando desde hace veinte años.

De todas maneras, para que estas afirmaciones tengan validez, es preciso que la acumulación tecnológica y el aprendizaje institucional hayan tenido realmente tiempo de producirse. Si bien éste es el caso en casi todos los

¹⁵ Véase Johnson (en prensa).

países de la OCDE, no puede decirse lo mismo en el caso de los países en desarrollo. En estos últimos, la ausencia de "acumulación tecnológica" debe adjudicarse a numerosos factores, responsables de su situación actual. Las nuevas economías industriales y sus empresas han llegado al umbral crítico en lo que respecta a la acumulación tecnológica, al proceso de aprendizaje y a la base institucional que posibilita esta acumulación. Otros factores, bien diferentes de la capacidad tecnológica (especialmente factores sociales y políticos), pueden haber desempeñado una función decisiva para explicar los variables grados de éxito obtenidos por los NEI (por ejemplo, el contraste entre Corea del Sur y el Brasil), a lo largo de los años ochenta y comienzos de esta década.

Las nociones de paradigma y trayectoria tecnológicos

Las investigaciones sobre la economía de la innovación y del cambio técnico han tenido recientemente dos avances significativos que permiten comprender más cabalmente los procesos de desarrollo de una tecnología y los mecanismos económicos y sociales de la elección de una tecnología dada por sobre otra. El primer avance se funda en las investigaciones ligadas a la idea de trayectorias tecnológicas, mientras que el segundo está ligado al desarrollo de la teoría de los rendimientos crecientes de adopción.

El concepto de "trayectoria tecnológica" expresa analíticamente el carácter fundamentalmente acumulativo y evolutivo del desarrollo y del cambio de tecnologías a medida que se difunden y se utilizan en la producción y los servicios¹⁶ (véase recuadro 9). Expresa también la idea según la cual, luego de avances científicos y tecnológicos de carácter paradigmático, existe al comienzo (de la trayectoria) un cierto potencial tecnológico que puede explotarse y desarrollarse. Los teóricos y los historiadores de la innovación tecnológica definen ese potencial con la ayuda de diversas terminologías, tales como "principios técnicos genéricos", "indicadores tecnológicos", "sistemas tecnológicos", "modelos dominantes" y actualmente con mayor frecuencia "paradigmas tecnológicos".

Como todo paradigma científico (Kuhn, 1962), un paradigma tecnológico (Dosi, 1982 y 1984) engloba una definición del problema pertinente y un mo-

¹⁶ Para una exposición completa y reciente de algunas interpretaciones paralelas, pero sin embargo diferentes, de la noción de trayectoria tecnológica, véase Dosi (1988), pp. 1128 y ss.; Gaffard y Zuscovitch (1988), p. 628; y Gaffard (1990).

Recuadro 9. Evolución de una trayectoria tecnológica

- Explotación de un impulso inicial aportado por un nuevo paradigma tecnológico surgido de un campo tecno-científico y del cual resulta un nuevo eje de desarrollo industrial que en este estadio no se apoyará necesariamente en un esfuerzo importante de I+D.
- Un proceso acumulativo que implica que, a medida que se produce la evolución, la gama posible de elecciones se restringe. Esta restricción del campo de las posibilidades inscribe de algún modo la trayectoria tecnológica sobre un tronco principal cuyo crecimiento se estabilizará gradualmente.
- Una multiplicación de las diferenciaciones y diversificaciones de las aplicaciones del paradigma original, basada en el esfuerzo de I+D que tiende a amplificarse para crear, a partir del tronco original, ramificaciones que son otras tantas sub-tecnologías generadoras de diversos productos.
- La entrada en una fase de saturación donde la renovación y los beneficios de productividad correspondientes a una eficacia creciente en la explotación del *stock* de conocimientos disponibles (eficacia por otra parte difícil de medir) implican un esfuerzo mayor de creatividad para logros cada vez más limitados. Esos logros aparecen especialmente en esa fase bajo la forma de combinaciones de funciones técnicas (*walk-man*) o de una mejora de los servicios prestados a los usuarios.
- El relanzamiento eventual, en la medida en que la trayectoria manifiesta una capacidad de reconstruir su potencial para extender en el tiempo los límites del impulso. Este relanzamiento es posible porque las trayectorias no son independientes unas de otras y porque se nutren mutuamente al tiempo que se combaten, como por ejemplo la aparición de nuevos materiales que dinamizó la siderurgia, reemplazando y desplazando el nivel de rendimiento. El relanzamiento también puede ser consecuencia de un progreso científico (el transistor para las computadoras), o de un impulso del mercado (lanzamiento de la producción de barcos a vela para la navegación deportiva).

do de investigación. Define las necesidades que se consideran satisfechas, los principios científicos que se utilizarán y la tecnología concreta que se pondrá en acción. Representa un conjunto de principios que estipula de manera clara las orientaciones que se imprimirán al cambio tecnológico. Los paradigmas tecnológicos tienen características heurísticas bien marcadas. Los esfuerzos y la imaginación tecnológica de los ingenieros y de las organizaciones en las cuales trabajan, se canalizan en direcciones muy precisas de modo que están "ciegos" para otras posibilidades tecnológicas. La definición de un paradigma tecnológico surge de la tarea genérica a la cual se aplica la tecnología (por ejemplo, amplificación y conversión de señales eléctricas), de la tecnología concreta que se elige (por ejemplo, semiconductores y, más particularmen-

te, silicio), de las propiedades físicas y químicas que explota (por ejemplo, el "efecto de transistor" y el "efecto de campo" de los materiales semiconductores), de las dimensiones y negociaciones tecnológicas y económicas que implica (por ejemplo, densidad de los circuitos, velocidad, insonorización, dispersión, banda de frecuencia, costo unitario).

Las trayectorias tecnológicas corresponden a procesos específicos. A la luz de los estudios realizados en los años ochenta, la noción de trayectoria no puede ser reducida a su interpretación inicial de trayectoria "natural" de las tecnologías, correspondiente a los fenómenos de mecanización creciente y de explotación de las economías de escala latentes. En cada industria o sector, la evolución tecnológica adopta una configuración particular que depende del área tecnológica de partida. Las ramas de la economía presentan diferencias significativas en su capacidad para explotar las trayectorias generales naturales dominantes y esas diferencias influyen sobre el crecimiento o fracaso de ciertas ramas de actividad o de tecnologías (Nelson y Winter, 1977).

Competencia entre tecnologías y rendimientos crecientes de adopción

Si bien todas esas nociones permiten una mejor comprensión de los mecanismos del desarrollo tecnológico, no dilucidan las cuestiones ligadas a la selección y la estabilización de las tecnologías. En otros términos, esas nociones no permiten comprender por qué una tecnología determinada prevalece sobre otra y tiene éxito allí donde otra fracasa. Esta cuestión será abordada en dos niveles: el del papel que desempeñan los factores económicos, institucionales y sociales en los mecanismos globales de selección de la tecnología (véase recuadro 10), y el del papel de un conjunto más restringido de elementos que llevan a los rendimientos crecientes de adopción.

La explicación convencional de la no adopción y de la desaparición de una tecnología afirma que eso ocurre porque la tecnología en cuestión era intrínsecamente inferior a la tecnología rival. Sin embargo, si concebimos la tecnología como "punto de llegada", la inferioridad (o la superioridad) intrínseca sólo puede establecerse si dos tecnologías tienen un nivel equivalente de desarrollo. Por lo tanto, toda explicación de los mecanismos de selección y de competencia tecnológicas debe preguntarse primeramente si los procesos en cuestión se encuentran en el punto de llegada y, en segundo lugar, si la tecnología eliminada no estuvo sujeta a una acción que condujo a su eliminación, de modo que solamente a posteriori se presentó como menos válida que la otra. Para explorar aún más esta cuestión, es necesario referirse al concepto de "rendimientos crecientes de adopción" y a las nociones asociadas de "externalidades de la red" y de "efecto de cierre" (*lock in*).

Recuadro 10. Factores que intervienen en la selección de tecnologías

Los factores económicos, institucionales y sociales tienen como vocación primera y decisiva la de elegir entre diferentes caminos posibles en cada nivel, desde la investigación a los esfuerzos tecnológicos. Esta selección se apoya en un cierto número de criterios bastante evidentes y generales como la factibilidad, las posibilidades de comercialización y la rentabilidad. La elección entre los paradigmas tecnológicos es por lo tanto amplia y es imposible clasificarlos *ex ante*, habida cuenta de la incertidumbre intrínseca de sus resultados, tanto en lo que respecta al éxito tecnológico cuanto al económico.

Además, es preciso incluir otras variables más específicas, particularmente las siguientes:

- a) los intereses económicos de la organización que efectúa trabajos de I+D en el área de las nuevas tecnologías;
- b) sus antecedentes tecnológicos, sus áreas de conocimiento experto, etcétera;
- c) variables institucionales en sentido estricto, tales como las políticas de compra de los organismos públicos (los sistemas de armas, el espacio, la energía, etcétera).

Todos esos factores tendrán probablemente como efecto la canalización del desarrollo tecnológico en direcciones bien definidas. Conviene subrayar que, en particular, las prioridades de los poderes públicos y los niveles de financiamiento son importantes en relación con la selección de una trayectoria particular. La electrónica y sobre todo el sector de los semiconductores y las computadoras durante los veinte años de la posguerra ofrecen un ejemplo manifiesto de esta situación. Los programas militares y espaciales han funcionado como un poderoso mecanismo de focalización para definir los objetivos tecnológicos asegurando al mismo tiempo la ayuda financiera necesaria para la I+D y garantizando mercados públicos.

Otro criterio de selección decisivo en las economías capitalistas reside probablemente en la posibilidad que se ofrece a las nuevas tecnologías de economizar costos y, en particular, mano de obra: ese criterio se inscribe evidentemente en línea recta con la idea formulada por Nelson y Winter sobre las "trayectorias naturales" hacia la mecanización y la explotación de las economías de escala (1977, pp. 36-77). No hay ninguna duda de que en las sociedades donde los conflictos industriales y de distribución de los ingresos constituyen características estructurales, la sustitución del trabajo por medio de máquinas debe ser una incitación poderosa para la búsqueda de nuevas tecnologías.

De manera más general, las formas de los conflictos industriales y sociales juegan a la vez como criterios negativos (qué desarrollos excluir) y como criterios positivos (qué tecnologías elegir) en el proceso de selección de nuevos paradigmas tecnológicos. En este sentido, sería quizás posible definir una relación a largo plazo entre las líneas de fuerza del desarrollo social y los paradigmas tecnológicos seleccionados. (Un ejemplo a todas luces evidente de esta situación es la asociación entre las relaciones profesionales a fines de siglo pasado y la selección y el desarrollo de modalidades de cambio técnico "taylorianos" en las industrias mecánicas.) (Dosi, 1984b, pp. 84-87.)

La idea de base de las investigaciones actuales sobre la teoría de los "rendimientos crecientes de adopción" es que una tecnología no es elegida porque es eficaz sino que se vuelve eficaz precisamente porque es elegida. Así, las características que conferirán su superioridad a una de las dos tecnologías en competencia se adquieren en el curso mismo de su desarrollo y difusión. Este nuevo enfoque en el análisis de la selección de las innovaciones reenvía al estudio de los mecanismos por los cuales la secuencia de las elecciones determina la superioridad y la inferioridad de cada una de las dos tecnologías en cuestión. "Lo que hace interesante la competencia entre tecnologías es que cuanto más se adopten las tecnologías, más atractivas -es decir, más desarrolladas, más extendidas y más útiles- serán" (Arthur, 1988, p. 590).

La principal fuente de rendimiento creciente de adopción proviene del aprendizaje por el uso: cuanto más se difunde una tecnología, más importante es el aprendizaje asociado a su utilización; cuanto más se mejora, más oportunidades tiene de ser adoptada por otros. Se comprende que el resultado de la competencia entre dos tecnologías está basado fundamentalmente en las estrategias de elección de los primeros usuarios, que van a localizar efectivamente el cambio técnico en una tecnología determinada, haciéndola más atractiva en relación con su rival. Estos primeros usuarios fijan de modo casi irreversible el proceso de adopción, del cual será cada vez más difícil desviarse. Los procesos de difusión reciben pues la influencia de tales "externalidades de red".

Las externalidades de red intervienen del mismo modo modificando la economía de una tecnología a medida que se difunde. Incluso sin mejoras o cambios materiales significativos, se produce un efecto de cierre (véase recuadro 11). Basta que una cantidad creciente de usuarios entre en su órbita para que esta tecnología se torne cada vez más seductora para los siguientes usuarios. A esto se agrega el hecho de que una nueva tecnología particularmente apta desde el punto de vista funcional crea y aumenta su propio mercado y se beneficia entonces de rendimientos crecientes tanto más importantes. Antes de su aparición, no había demanda para el teléfono o la computadora. Pero cuanto más abonados al teléfono y más usuarios de computadoras hay, más rentable resulta unirse a ellos. A través del análisis de los rendimientos crecientes de adopción y los efectos de cierre, se ha modificado recientemente el criterio, tanto conceptual como técnico, para la elaboración de normas en las industrias fuertemente internacionalizadas, cuyos costos de inversión son muy elevados, como las telecomunicaciones y la telemática.

Ese tipo de proceso de selección irreversible puede muy bien desarrollarse en el plano internacional. Puede también tener efectos sobre las barreras industriales y afectar la competitividad de las firmas e incluso de

**Recuadro 11. Procesos de cierre y rendimientos
crecientes de adopción**

Basándose en el estado actual de los conocimientos de ese proceso (para un panorama completo de esos aspectos véase Foray, 1990) cinco "hechos estilizados" caracterizan la competencia entre tecnologías, los efectos de bloqueo (y de salida) y los rendimientos crecientes de adopción:

- En el curso del proceso de competencia, es decir, durante la secuencia de selección, en un momento dado interviene una situación de cierre, es decir, de bloqueo del proceso sobre una de las tecnologías en cuestión.
- La tecnología ganadora no es necesariamente la mejor (la que aseguraría los mejores rendimientos al término del proceso de aprendizaje).
- Las posibilidades de intervención de los poderes públicos, con el fin particular de evitar la victoria de la tecnología inferior, pueden ser extremadamente reducidas, sobre todo si no se tiene en cuenta el rol del estado para la adopción de tecnologías.
- Incluso si se demuestra que la solución que se impuso como tecnología dominante no es la mejor, la sustitución de una tecnología por otra -o proceso de conversión- es sumamente difícil de realizarse, en particular a causa de los fenómenos de información imperfecta, de falta de coordinación entre los usuarios y de la ausencia de interrelaciones tecnológicas.
- En función de ese carácter casi inexpugnable de una tecnología dominante, la competencia entre diferentes trayectorias se desarrolla en un sistema que "prefiere" establecer complementariedades o relanzar trayectorias saturadas más que operar reconversiones o sustituciones radicales. Esto se ve perfectamente, por ejemplo, en las interacciones entre nuevos y viejos materiales.

industrias enteras. Estudios comparativos efectuados sobre las industrias de la fundición en Alemania y en Francia revelaron que en el primer país ciertas tecnologías se beneficiaron con un mercado más amplio y más dinámico. Estas tecnologías se implantaron más amplia y profundamente y resistieron mejor las fluctuaciones posteriores del mercado, apoyándose en las ventajas acumuladas que resultaban de la experiencia de los usuarios y comportaban un mejoramiento continuo de los procedimientos (Foray, 1989). Las implicaciones de estas cuestiones sobre la competitividad internacional, las transferencias internacionales de tecnología y la situación de

las nuevas economías industriales y otros países en desarrollo se tratan en otros capítulos de este informe.

4. Algunas conclusiones con vistas a la acción pública

Si bien este primer capítulo procuró dar apenas un vistazo global de los mecanismos del sistema de la innovación, no deja de ser útil para permitir ciertas conclusiones para la acción pública.

La L+D industrial

La investigación industrial no es la única fuente de que la firma dispone para innovar y el registro de las sumas afectadas en ella no basta para medir su efecto. Sin embargo, la evaluación cuantitativa de la investigación dentro de las empresas constituye por el momento el medio más utilizado y menos objetado por los gobiernos para apreciar el nivel de innovación en la industria nacional. El más conocido de esos indicadores mide la relación entre los gastos industriales de investigación y el producto nacional bruto (PNB) (véase cuadro 1).

Ese tipo de indicador refleja dos fenómenos: primero, la propensión de las firmas de un país para realizar más o menos I+D que el promedio de las firmas del mismo sector en los países de la OCDE; y segundo, la estructura industrial del país, en relación con los perfiles sectoriales (con menos industrias de alta tecnología, la intensidad promedio de I+D será débil) y con el perfil de tamaño (las grandes empresas sacan más ventajas de las economías de escala y realizan proporcionalmente más I+D que las firmas pequeñas). A pesar de sus limitaciones (entre las que se cuenta el hecho de que la tecnología adquirida mediante la compra de máquinas elaboradas no se refleja en los resultados), los gobiernos continúan controlando muy estrictamente este indicador. Por debajo del 1%, revela una economía frágil; por debajo de 0.2%, debe realizarse un esfuerzo excepcional y concertado por parte de los gobiernos y las empresas.

Como el esfuerzo público no puede sustituirse al de las empresas, la acción de los gobiernos sobre ese fenómeno es inevitablemente limitada. Sin embargo, pueden crearse ambientes más propicios para la innovación y, para ello, los gobiernos disponen de toda una panoplia de instrumentos. Pueden alentar la difusión de tecnologías genéricas y apoyar las tecnologías estratégicas. Pueden promover la interacción y la creación de redes entre empresas y laboratorios públicos. Pueden promover la investigación a largo plazo en las

grandes empresas, desarrollar sociedades de investigación bajo contrato y centros técnicos y favorecer el desarrollo industrial de los sectores de alta tecnología mediante la búsqueda de inversiones extranjeras y los acuerdos interfirmas de colaboración internacional.

Hoy por hoy se necesitan trabajos ulteriores precisos para evaluar cuidadosamente la eficacia relativa de esos diferentes programas en el actual contexto. Actualmente se verifica que los países que necesitan actualizarse (los países pequeños en todas las actividades, y los otros en sectores específicos) consideran esos programas como parte de su política económica.

La investigación de largo plazo

Para todos los países resulta esencial, desde el estricto punto de vista de la economía, apoyar la investigación a largo plazo y, especialmente, la investigación fundamental. El desarrollo continuo de la investigación fundamental es un fenómeno internacional por naturaleza. Los científicos constituyen uno de los primeros grupos que ha dado a sus funciones el carácter global hacia el que tiende actualmente la mayor parte de las actividades del sector económico. Las medidas políticas deberían conceder una fuerte prioridad a promover la cooperación de los laboratorios, la movilidad de los investigadores, la construcción y la explotación común de los equipos de la ciencia pesada y la coordinación internacional de programas globales que necesitan la climatología y la oceanografía.

El carácter de bien público que posee la ciencia exige que cada país tome parte en el esfuerzo común, consagrándole recursos proporcionados según su poder económico. Pero además de esta obligación moral de participar en un esfuerzo colectivo, todo país obtiene una ventaja concreta al mantener laboratorios de investigación fundamental en su territorio. La investigación fundamental es parte integrante del mecanismo de adopción y de difusión. El carácter interactivo de la innovación y los vínculos cada vez más importantes entre la ciencia y la tecnología benefician a las empresas que se encuentran en vecindad con universidades y laboratorios públicos calificados.

Estas consideraciones no son nuevas. Deben, sin embargo, reafirmarse con fuerza porque la suma de los recursos de la investigación fundamental ha tenido tendencia a bajar e, igualmente, se han deteriorado los medios de trabajo de los que dispone cada investigador. Los gobiernos deben darse cuenta de que en el marco de un presupuesto público de investigación que no crece, el número de competidores aumenta en razón de la multiplicación de las disciplinas y de la complejidad creciente de los proyectos.

El apoyo a la investigación fundamental no significa, por otra parte, que todas las disciplinas se desarrollen al mismo ritmo. Deberían desarrollarse y

coordinarse mejor los ejercicios de prospectivas científicas y técnicas llevados a cabo por cada país. Aunque difícil, debería intentarse un esfuerzo de evaluación del impacto de cada disciplina sobre las otras. Regularmente nacen nuevas disciplinas cuya eclosión es preciso promover; otras, al contrario, envejecen y tienden a un perfeccionismo científico poco productivo. Finalmente, debe efectuarse un examen periódico de la distribución de recursos entre las disciplinas. Es preciso sostener el desarrollo de las disciplinas que poseen una función natural de interfase, en la medida en que la innovación se nutre cada vez más de la fertilización recíproca de las ideas que emanan de diferentes disciplinas.

Instituciones, equilibrios, interacciones

La innovación posee un carácter interactivo. Funciona, pues, como un sistema, es decir, que su éxito depende no sólo de la calidad de sus diversos actores sino también de su sinergia. Para comprender el proceso de la innovación, al igual que las relaciones entre la tecnología y la acción pública, es necesario conocer las fuentes y los determinantes de base de los rendimientos y las orientaciones de la innovación, así como los medios por los cuales la política puede influir sobre ellos.

La inmensa complejidad de la situación explica en parte la dificultad con la que frecuentemente se enfrentan las políticas de la innovación, cuando los diversos actores (firmas, gobiernos o instituciones académicas) buscan objetivos parciales o no necesariamente convergentes. La organización institucional de la investigación podría ser eficaz, tal como las diferentes formas institucionales -universidades, consejos nacionales de investigación, institutos y centros- podrían favorecer o, inversamente, dificultar los intercambios e incluso las fusiones entre las disciplinas, el nacimiento de nuevas disciplinas o la reorientación de la investigación hacia nuevos caminos.

Es por lo tanto imperativo que se establezca una vigorosa coordinación institucional de la innovación, a escala regional, nacional o local. Las instituciones encargadas de las interacciones deben mejorarse y multiplicarse: es el caso de los "laboratorios redes", de los polos tecnológicos, de las asociaciones científicas, de las instancias de evaluación tecnológica, de los museos de ciencias y técnicas.

Se pueden identificar algunas áreas que demandan atención política particular. Son aquellas que se relacionan con disciplinas que desempeñan un rol natural de interfase, tales como las ciencias interdisciplinarias, las tecnologías genéricas difusoras, nacidas en el marco de ciertos sectores, que son útiles para la casi totalidad de las otras, cuya organización, méto-

dos y procedimientos modifican a menudo profundamente, y las ciencias de transferencia.

Las ciencias de transferencia (entre las cuales se cuentan las ciencias de la ingeniería) tienen un papel esencial en el establecimiento de relaciones fructíferas entre la ciencia y la industria. Por lo tanto, deberían constituir un objetivo particularmente importante para las políticas gubernamentales que deseen promover el desarrollo tecnológico. Esas ciencias evolucionan constantemente bajo la presión conjugada de las necesidades económicas y sociales, y los nuevos conocimientos producidos por las ciencias naturales y las matemáticas. Algunos acontecimientos de estas últimas décadas muestran que en caso de emergencia de una nueva área de transferencia, es importante crear programas para estimularlas y apoyarlas. En numerosos países de la OCDE los poderes públicos facilitaron y aceleraron las actividades de investigación vinculadas a la informática, los nuevos materiales, la biotecnología, etc. Existen áreas como el medio ambiente, donde la necesidad de nuevas disciplinas de transferencia parece ser de una claridad evidente, incluso si la "ingeniería ecológica" demora su aparición.

En esas tres áreas, los gobiernos y los organismos públicos deberán intervenir con firmeza. En efecto, las disciplinas de interfase se enfrentan con una dificultad intrínseca para encontrar apoyo. Las empresas se interesan ante todo por el corto plazo y por las tecnologías que les son específicas; las universidades tienen tendencia a privilegiar las áreas de investigación más "puras" y consideradas como las más "nobles"; y, finalmente, las comunidades científicas tienden a aislarse unas de otras.

Un desarrollo tecnológico no es rentable a largo plazo sino mediante esfuerzos equilibrados del sector público y del sector empresario. Si en un país la investigación pública y, muy en especial, la investigación universitaria, permanecen en un nivel mediocre, los proyectos a largo plazo corren el riesgo de quedar en el camino, el contexto empresario se deteriora, los inversores se desalientan y el tejido industrial comienza a debilitarse. Pero si las empresas no colaboran con el esfuerzo público, entonces los científicos formados por las universidades emigran y la investigación realizada por los laboratorios públicos se asfixia o sirve solamente a las firmas extranjeras.

Bibliografía

- Arthur, B. (1988), "Competing Technologies, Increasing Returns and 'Lock-in' by Small Historical Events", en *Economic Journal*, marzo.
- Bernal, J. D. (1971), *Science in History*, Cambridge, Mass., MIT Press, y Londres, Penguin Books.

- Bienaymé, A. (1988), "Technologie et nature de la firme", en *Revue d'économie politique*, noviembre/diciembre.
- Blume, S. (1990), "Transfer Sciences: Their Conceptualisation, Functions and Assessment", documento presentado en la Conferencia TEP sobre los indicadores, París, julio.
- Cantwell, J. (1989), *Technological Innovation and Multinational Corporations*, Oxford, Basil Blackwell.
- Cohén, W. M. y D. A. Levinthal (1989), "Innovation and Learning: The Two Faces of R&D", en *Economic Journal*, septiembre.
- Dasgupta, P. y P. David (1988), "Priority, Secrecy, Patents and the Socio-Economics of Science and Technology", Universidad de Stanford, Center for Economic Policy, Research Paper No. 127, marzo.
- Dosi, G. (1984), "Technological Paradigms and Technological Trajectories. The Determinants and Directions of Technological Change and the Transformation of the Economy", en Freeman, *Long Waves in the World Economy*, Londres, Pinter Publishers.
- Dosi, G. (1988), "Sources, Procedures and Microeconomic Effects of Innovation", en *Journal of Economic Literature*, vol. 26, septiembre.
- Ferguson, C. H. (1990), "Computers and the Coming of the US Keiretsu", *Harvard Business Review*, vol. 90, No. 4.
- Foray, D. (1989), "Les modeles de compétition technologique", en *Revue d'économie industrielle*, No. 28.
- Foray, D. (1990), "Exploitations des externalités de réseau vs. innovation de normalisation", en *Revue d'économie industrielle*, No. 51.
- Freeman, C. (1987), "Le défi des technologies nouvelles", *Interdépendence et coopération dans le monde de demain*, París, OCDE.
- Gaffard, J. L y E. Zuscovitch (1988), "Mutations technologiques et choix stratégiques des entreprises", en Arena, R., J. de Bandt y L. Benzoni (eds.), *Traite d'économie industrielle*, París, Económica.
- Gaffard, J. L. (1990), *Economie industrielle et de l'innovation*, París, Dalloz.
- Johnson, B., "Institutional Learning", en Lundvall, *National Systems of Innovation*, Londres, Pinter Publishers (en prensa).
- Kamien, M. y N. Schwartz (1982), *Market Structure and Innovation*, Cambridge, Cambridge University Press.
- Kline, S. J. y N. Rosenberg (1986), "An Overview of Innovation", en National Academy of Engineering, *The positive Sum Strategy: Harnessing Technology for Economic Growth*, The National Academy Press, Washington D.C.
- Kuhn, T. (1962), *The Structure of Scientific Revolutions*, Chicago, Chicago University Press.
- Lundvall, B. A. (1988), "Innovation as an Interactive Process: From User-Producer Interaction to the National System of Innovation", en Dosi *et al.*
- Mordschelles-Regnier, G., G. Dahan y A. Reboul (1987), "Le rôle des sociétés de recherche sous contrat vis-à-vis des PME", en *Annales des Mines*, julio/agosto.
- Mowery, D. C. y Rosenberg, N. (1979), "The Influence of Market Demand upon Innovation: A Critical Review of Some Recent Empirical Studies", *Research Policy*, vol. 8, No. 2.

- Mowery, D. C y Rosenberg N. (1989), *Technology and the Pursuit of Economic Growth*, Cambridge, Mass., Cambridge University Press.
- Narin, F. y E. Noma (1985), "Is Technology Becoming Science", *Scientometrics*, vol. 7, Nos. 3 y 6.
- Nelson, R. y S. Winter (1977), "In Search of a Useful Theory of Innovation", en *Research Policy*, vol. 6, No. 1.
- Nelson, R. (1981), "Competition, Innovation, Productivity Growth, and Public Policy", en H. Giersch (ed.), *Proceedings of the 1980 Kiel Symposium on Towards an Explanation of Economic Growth*, Tübingen, J.C.B. Mohr (Paul Siebeck).
- Nelson, R. (1986), "Institutions Generating and Diffusing New Technology", documento presentado en la Conferencia sobre Difusión de la innovación, Venecia.
- Nelson, R. (1988), "Institutions Supporting Technical Change in the United States", en Dosi *et al.*
- Nelson, R. y Rosenberg, N. (1990), "Technical Advance and National Systems of Innovation", documento de trabajo para 'The Columbia University International Project on National Systems of Innovation', enero.
- OCDE (1971), "Conditions du succès de l'innovation technologique", París.
- OCDE (1979), *Impact of Multinational Enterprises on National Scientific and Technical Capacities: The Food Industry*, París.
- OCDE (1988), "Nouvelles technologies: une stratégie socio-économique pour les années 90", París.
- OCDE (1989), *Indicateurs de la science et de la technologie de l'OCDE: R-D, production et diffusion de la technologie*, París.
- OCDE (1991), *Choisir les priorités scientifiques et technologiques*, París.
- Pavit, K. (1984), "Sectoral Patterns of Technical Change: Towards a Taxonomy and a Theory", en *Research Policy*, vol. 13, No. 6.
- Picard, J. F. (1990), *La République des Savants*, París, Flammarion.
- Roos, D. (1991), 'The importance of Organisational Structure and Production System Design in the Development of New Technology', en OCDE, *Technology and Productivity: The Challenges for Economic Policy*, París (únicamente en inglés).
- Rosenberg, N. (1976), *Perspectives on Technology*, Cambridge, Cambridge University Press.
- Rosenberg, N. (1982), *Inside the Black Box: Technology and Economics*, Cambridge, Cambridge University Press.
- Rosenberg, N. (1991), "Critical Issues in Science Policy Research", Texto de apertura de la Conferencia del 25 aniversario del SPRU, en *Science and Public Policy*, vol. 18, No. 6.
- Sahal, D. (1981), *Patterns of Technological Innovation*, Nueva York, Addison-Wesley.
- Schmookler, J. (1966), *Invention and Economic Growth*, Cambridge, Mass., Harvard University Press.
- Scott, M. F. (1989), *A New View of Economic Growth*, Oxford, Clarendon Press.
- Silverberg, G. y Soete, L., *Technical Change and Economic Theory*, Londres, Pinter Publishers.
- Womack, J. R, D. T. Jones y D. Roos (1990), *The Machine that Changed the World*, Nueva York, Rawson Associates.