

See discussions, stats, and author profiles for this publication at: <https://www.researchgate.net/publication/321137751>

El proceso de innovación científica y tecnológica

Chapter · January 2000

CITATION

1

READS

81

1 author:



Julio César Neffa

National Scientific and Technical Research Council

166 PUBLICATIONS 398 CITATIONS

SEE PROFILE

Some of the authors of this publication are also working on these related projects:



Mass layoffs in the Argentina's new accumulation regime. Psychosocial consequences and critical discourse analysis [View project](#)



PID BID PMT-SIT del FONCYTn0198: Las nuevas dimensiones de la competitividad. Su aplicación al caso de las PYME [View project](#)

EL PROCESO DE INNOVACIÓN CIENTÍFICA Y TECNOLÓGICA

JULIO CÉSAR NEFFA¹

INTRODUCCIÓN

EL OBJETIVO de este trabajo es presentar una serie de reflexiones teóricas de carácter preliminar acerca del proceso de innovaciones científicas y tecnológicas, dirigidas en primer lugar a los sociólogos del trabajo latinoamericanos y redactadas a partir de un enfoque pluridisciplinario, con un acento puesto en la economía de las innovaciones.

La reflexión de los sociólogos latinoamericanos sobre este tema es relativamente reciente pero intensa y con numerosos efectivos. Se destacan, entre otros, los trabajos realizados en el seno de un grupo de trabajo de CLACSO, y el esfuerzo de investigación y estudios de posgrado que se llevan a cabo en Argentina, en las universidades nacionales de Buenos Aires (CEA), Quilmes y La Plata, así como en el PIETTE del CONICET; en Brasil en el CNPq, en las universidades federales de Campinas, Río de Janeiro, Rio Grande do Sul, y en la UESP; en Chile, en el CONACYT; en México en el CONACYT, en la UAM, en la UNAM, en los colegios de México y de la Frontera Norte, y en FLACSO; en Uruguay, en la Universidad de la República; en Venezuela en el CENDES de la Universidad Central de Caracas y en el CONACYT; la CEPAL cumple una función importante impulsada por el creativo esfuerzo llevado a cabo en Argentina y desde Santiago de Chile por el doctor Jorge Katz y su equipo; pero obviamente esta lista es incompleta y queda permanentemente desactualizada debido al dinamismo de los investigadores que se desempeñan en esta área temática.

Desde otras perspectivas disciplinarias, cabe señalar los trabajos internacionalmente reconocidos realizados por Amílcar Herrera primero en la Fundación Bariloche de Argentina y luego en la UESP de Brasil, y por Oscar Varsavsky, primero en Argentina y luego en Venezuela.

Para redactar este capítulo hemos utilizado los conocimientos acumulados por los economistas que se desempeñan en los centros académicos arriba mencionados, pero especialmente los resultados de los trabajos realizados por la OCDE, a través del Programa Tecnología-Economía (TEP).

¹ Doctor en sociología; en la actualidad trabaja en CEIL-CONICET, Argentina. Dirección: postmast@piette.edu.ar.

El TEP cumplió una tarea decisiva para hacer avanzar las investigaciones y difundir los enfoques alternativos al “modelo lineal”, que es todavía dominante en varios organismos públicos nacionales responsables de la política científica y tecnológica. Los enfoques teóricos de las escuelas institucionalistas, evolucionistas (neoschumpeterianos) y regulacionistas nos han permitido construir un modelo interpretativo alternativo a aquél, propugnando la creación de un sistema nacional de innovación y redes cooperativas de empresas que, recurriendo a las instituciones y a los actores sociales, intenta crear una articulación estrecha entre los sistemas científico, educativo y productivo, reconociendo las competencias profesionales y el saber hacer colectivo —muchas veces tácito— acumulado en el personal de las empresas.

Queremos hacer público nuestro agradecimiento al compilador de este *Tratado*, y también a los doctores François Chesnais, quien se desempeñó como redactor de varios informes del TEP de la OCDE, Robert Boyer del CNRS, y Remi Barré, director del Observatoire des Sciences et des Techniques (OST) GIP del CNRS, por su esfuerzo en la construcción de indicadores.

LOS CONCEPTOS BÁSICOS

Los llamados *Manual de Frascati* y *Manual de Oslo*, preparados por la OCDE, constituyen un buen punto de partida para adoptar los conceptos básicos que se van a utilizar a lo largo de este trabajo.

Actividades de innovación tecnológica de productos y/o procesos

Las *actividades de innovación tecnológica de productos y/o procesos* (en adelante ITPP) se definen como el conjunto de procedimientos científicos, tecnológicos, organizacionales, financieros y comerciales que culminan, o deberían culminar, en la realización de productos o de procedimientos tecnológicos nuevos, o considerablemente mejorados para una firma (OCDE, 1997).

La *innovación tecnológica de producto* es la puesta a punto y la comercialización de un producto más eficaz, con el objetivo de proporcionar al consumidor bienes que sean *objetivamente* nuevos o mejorados, pero excluyendo los cambios que le dan al consumidor un sentimiento subjetivo de una mayor satisfacción en función de sus propios gustos, de juicios estéticos, del seguimiento de la moda, o como resultado de campañas de *marketing*. Un producto tecnológicamente mejorado es un producto preexistente cuya eficacia se aumen-

ta de manera significativa (eficacia, costos, productividad) utilizando nuevos componentes o materiales, o haciendo modificaciones parciales a los subsistemas que lo componen (por ejemplo la sustitución de metal por materias plásticas en el equipamiento para muebles y aparatos del hogar). Esa eficacia puede medirse objetivamente en términos de su impacto sobre las ventas de la firma o de la rama de actividad de que se trate (OCDE, 1997).

La innovación tecnológica de procesos es la puesta a punto o adopción de métodos de producción o de distribución nuevos o notablemente mejorados, que afectan de manera separada o simultánea los materiales, los recursos humanos o los métodos de trabajo, y que eran imposibles de producir con los métodos anteriores (OCDE, 1997). Pero la aplicación de una norma de calidad como la ISO no constituye en sí misma una ITPP, salvo que dé lugar a un mejoramiento notable de la producción o de la entrega de bienes o de servicios.

También puede considerarse que puede haber innovación en el *procedimiento de entrega de los productos*.

Las normas internacionales más aceptadas para recopilar datos con el objeto de construir indicadores de ciencia y tecnología en el nivel de las firmas fueron las propuestas en el *Manual de Oslo* (OCDE, 1997), pero que en las versiones actuales se ha elaborado dejando de lado las innovaciones organizacionales y pensando únicamente en la innovación tecnológica llamada "dura", que supone de manera imperativa un mejoramiento "objetivo" de los resultados de un producto.

Objetivos económicos buscados por las empresas innovadoras

El cambio tecnológico se produce porque las empresas innovan con el objeto de asegurarse la obtención de rentas gracias al incremento de productividad y la consiguiente reducción de los costos que se consigue con los nuevos procesos, en virtud de lo cual aumentan su participación del mercado en detrimento de sus competidores, lo cual les permite elevar sus tasas de ganancia. Si se trata de innovación de productos, y si lo registra como un *brevet*, la firma puede gozar durante un tiempo de una situación legal de monopolio y fijar precios superiores a los de la competencia, ganando así tiempo sobre sus posibles imitadores.

Los *objetivos económicos buscados con las ITPP* pueden enumerarse de la siguiente manera:

- remplazar los productos cuyo ciclo de vida ha concluido;
- ampliar la gama de variedad de los productos ya existentes;

poner a punto procesos y productos que no deterioren el medio ambiente;

mantener la participación del mercado, acrecentarlo o abrir nuevos mercados;

flexibilizar la producción;

bajar los costos de producción;

mejorar la calidad del producto;

mejorar las condiciones y el medio ambiente de trabajo.

Las diversas actividades de ITPP

Las *actividades de ITPP* constituyen inversiones y gastos que pueden adoptar formas diferentes:

1. La *investigación y desarrollo* (IyD) que “comprende el trabajo creativo emprendido sistemáticamente para incrementar el acervo de conocimientos, incluido el conocimiento del hombre, la cultura y la sociedad, y el uso de este conocimiento para concebir nuevas aplicaciones” (OCDE, 1992). En principio las actividades de IyD permiten resolver un problema cuando anteriormente la solución no parecía ser evidente, incluso para quienes estaban familiarizados con los conocimientos y técnicas básicos de uso común en el ámbito de que se tratase.

2. Adquisición de tecnologías incorporadas en las maquinarias y equipos, y de tecnologías y saber productivo no incorporados (compra de patentes, invenciones no brevetadas, marcas de fábrica, estudios de concepción y de modelos, etcétera).

3. Compras de herramientas y gastos para hacer estudios de concepción industrial, montar instalaciones piloto, fabricar prototipos, poner en marcha la producción.

4. Los gastos de formación relacionados con las actividades de ITPP.

5. La comercialización de productos tecnológicamente nuevos o mejorados.

A lo largo de un tiempo, según sus resultados, las actividades de ITPP de una empresa pueden clasificarse en tres grupos: exitosas, abortadas y en curso (cuando todavía no se llegó a resultados concretos).

La *empresa innovadora* (EI) es la que ha puesto a punto de manera exitosa uno o varios productos o procesos, o asociaciones de productos y procesos tecnológicamente nuevos o notablemente mejorados, en el curso del periodo considerado; también puede ser el mero resultado de la compra de tecnologías incorporadas en nuevas máquinas y equipos (OCDE, 1997). El impacto de las ITPP en una firma puede medirse como el porcentaje de ventas generadas por los productos nuevos o mejorados,

aunque en el caso de una empresa que comienza sus actividades en un periodo dado todos los productos son en principio nuevos, y su porcentaje sería del 100 por ciento.

La generación de las ITPP

Siguiendo el *Manual de Frascati* (OCDE, 1992) pueden entonces distinguirse tres actividades que están en el origen de las ITPP:

1. *Investigación básica*: es el trabajo teórico o experimental emprendido principalmente para adquirir nuevos conocimientos sobre los fundamentos de fenómenos y hechos observados, sin tener por finalidad ninguna aplicación en particular. Analiza sus propiedades, estructuras y relaciones con el fin de formular y comprobar hipótesis, teorías o leyes. Los resultados de la investigación básica no suelen comercializarse: se publican en revistas científicas, o se divulgan dentro de las redes de los colegas interesados. Pero también, en algunos casos, la investigación básica se clasifica como de carácter *confidencial*, por razones de seguridad. La *ciencia básica* está financiada fundamentalmente por el Estado, para apoyar las actividades generadoras de cambios tecnológicos que llevan a cabo las empresas; es desarrollada en las universidades, organismos y centros de investigación públicos y privados. Muchas de esas contribuciones son el resultado de un esfuerzo personal y sólo pueden ser transmitidas al resto por intermedio de contactos personales y gracias a la movilidad de los interesados; de allí la conveniencia de que esas sustituciones estén localizadas en el país, y no en el extranjero, que estén próximas entre sí para facilitar las comunicaciones, y que no se dispersen por todo el territorio.

2. *La investigación aplicada*: es una investigación original emprendida para adquirir nuevos conocimientos, pero que está orientada a la consecución de un logro u objetivo práctico determinado. Los resultados de la investigación aplicada tienen por finalidad principal ser válidos para fabricar un producto o realizar un proceso productivo, dando lugar a un nuevo método o a configurar un sistema. Los conocimientos y la información obtenidos de la investigación aplicada suelen patentarse, aunque también es posible que durante un tiempo sus descubridores los mantengan en secreto para aprovechar mientras tanto las rentas tecnológicas.

3. *El desarrollo experimental*: es un trabajo sistemático que se vale del conocimiento obtenido de la investigación básica y de la experiencia práctica, con el propósito de producir nuevos materiales, productos o dispositivos, instalar nuevos procesos, sistemas o servicios, o mejorar de forma sustancial aquellos ya instalados o producidos.

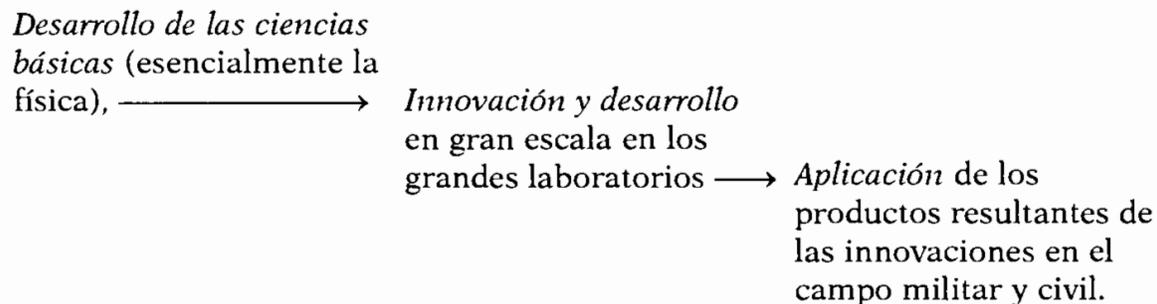
Las relaciones entre ciencia y tecnología

A menudo se trata a la ciencia básica y a la tecnología como si fueran la misma cosa, dada la similitud de sus insumos y sus productos. Según H. Group (1995) la ciencia contribuye de manera sustancial a la tecnología, sirviéndole de fuente directa de ideas para intentar nuevas posibilidades tecnológicas, le provee herramientas y técnicas con el objeto de hacer diseños de ingeniería más eficientes, es fuente para el desarrollo y la asimilación de nuevas habilidades y capacidades humanas, y finalmente permite evaluar los impactos de la tecnología en el nivel social y ambiental. La tecnología sirve a su vez a la ciencia, pues le permite verificar hipótesis de manera experimental y plantea cuestionamientos que amplían el programa de problemas a estudiar.

EL MODELO INTERPRETATIVO TRADICIONAL O "LINEAL" DE CIENCIA Y TECNOLOGÍA

A partir del informe Vannevar Bush, *Science the Endless Frontier*, redactado en 1955 a pedido de la Presidencia de Estados Unidos, los especialistas de la época construyeron un modelo explicativo simple y lineal de ciencia y tecnología, basado en el postulado de que la oferta del sistema científico (*science push*) era el factor explicativo. Ese modelo predominó entre los asesores de ciencia y tecnología del gobierno norteamericano; a partir de allí se difundió dentro de la National Science Foundation (NSF) durante las décadas de 1950 y 1960, para luego transferirse a otros países de la OCDE.

Analizado con la perspectiva que da el tiempo transcurrido, puede afirmarse hoy que el modelo proponía, de hecho, interpretar el cambio tecnológico de manera determinista, como si fuera una reacción mecánica, secuencial, lineal, unidireccional y en cadena del siguiente tipo:



Hasta la década pasada predominaba esa idea: la ciencia y la tecnología se desarrollaban “como si fueran por un tubo”: existiría una permanente demanda insatisfecha, y el proceso navegaría sin tropiezos desde los descubrimientos de la ciencia hacia la investigación aplicada, el diseño, los prototipos, la manufactura, el *marketing* y, finalmente, la comercialización de los nuevos productos o procesos.

La ciencia sería un “bien gratuito”, que “estaría disponible en una estantería”, accesible para quien quisiera utilizarlo; su aplicación tecnológica sería fácil de hacer y no tendría mayores costos. Como se trataría de un *bien inmaterial*, todos podrían tener acceso al mismo sin que dicho bien se agotase, pero al mismo tiempo sería un bien cuyo valor crecería continuamente con el aporte de los nuevos conocimientos generados a partir de su uso.

A partir de este modelo se pensaba a menudo que los resultados de la ciencia básica eran simplemente un “bien público”, gratuito, y que los conocimientos obtenidos estarían siempre codificados, serían publicados, ampliamente difundidos y fáciles de reproducir por otros; por el hecho de ser un bien público la ciencia merecería el decidido apoyo del Estado. Pero desgraciadamente estas previsiones no se cumplieron, y los senderos tecnológicos de los diversos países comenzaron a divergir cada vez más.

En ese modelo se deja de lado que el cambio tecnológico no depende sólo de la investigación y desarrollo sino de muchas actividades relacionadas, como la educación, la formación profesional, la ingeniería de producción, el diseño, el control de la calidad, etc. Ese enfoque dejó también de lado las interrelaciones y retroalimentaciones cada vez más frecuentes entre el sistema productivo y las actividades de I+D.

Las relaciones entre la ciencia y la tecnología se consideraban como si operaran dentro de una “caja negra” que se debía usar, pero que no se debía intentar abrir para comprender; el cambio científico y tecnológico se trataba como si fuera un “factor residual” dentro de la función de producción, caracterizado más tarde como “la medida de nuestra ignorancia” (Rosenberg, 1982).

Ahora bien, ese “residuo” se explica en buena medida debido al progreso técnico inmaterial, que incrementa la productividad. En un primer momento se suponía que ese progreso era exógeno, pero más tarde se trató de volverlo endógeno.

Ese enfoque desconocía que las relaciones generadas entre la tecnología, la sociedad y la economía son muy estrechas y que se generan vínculos de interdependencia, multiplicándose las retroalimentaciones entre los investigadores, los tecnólogos, los empresarios, los usuarios y, finalmente, los consumidores.

LOS NUEVOS CONCEPTOS QUE CUESTIONAN EL MODELO LINEAL

Las escuelas de pensamiento neoclásicas heterodoxas, así como los economistas evolucionistas y regulacionistas, han forjado una serie de conceptos con base en los cuales se construirá progresivamente un modelo denominado interactivo.

Inversiones materiales e inmateriales

La tendencia que predomina en la mayoría de los países industrializados es que, sobre el total, la inversión física (inversiones materiales) en máquinas, instalaciones, edificios, es todavía más elevada que las inmateriales, pero estas últimas crecen más rápidamente; ambas son cada vez más complementarias y constituyen la clave del crecimiento de la productividad y la competitividad.

La *inversión material* está representada por el capital físico, los equipos, máquinas y edificios dedicados a investigación y desarrollo.

La *inversión inmaterial* tiene una gran importancia para el aumento de la producción y de la productividad, para descifrar las señales del mercado y lograr la mejor interacción entre oferta y demanda de bienes y servicios. Pero, además, la inversión inmaterial es indispensable para explotar el potencial económico de las nuevas tecnologías y condiciona los beneficios económicos que se pueden obtener con ellas, pues desarrollan los conocimientos y las competencias de base necesarias para la introducción de nuevos procesos y productos, y crean un contexto socioeconómico favorable a la innovación, que permite articular de manera más estrecha la producción a la demanda.

Las inversiones inmateriales más conocidas son las siguientes: investigación y desarrollo en programas informáticos, compra de tecnología y licencias para la concepción e ingeniería de procesos y productos; actividades de observación y de exploración en ciencias de la vida y ciencias del universo; inversión en la formación de recursos humanos; contratación de servicios a las empresas en materia de gestión y organización, y estudios de mercado, dada la tendencia a la reducción del ciclo de vida de los productos y el aumento de la competencia.

Ya lo había señalado A. Smith en su libro *La riqueza de las naciones*: los avances técnicos no solamente se llevan a cabo en el curso del proceso de producción directa, sino también por medio de "los filósofos y hombres de especulación", denominación dada a los científicos en el siglo XIX (Pavitt, 1995).

El ciclo de vida de los productos

Las firmas seleccionan y adoptan nuevas tecnologías siempre que esto puede significarles un mejoramiento de la situación precedente.

Este proceso de selección de nuevas tecnologías tiene en cuenta los ciclos de vida del producto, utilizando un concepto que se ha asimilado a categorías biológicas siguiendo el pensamiento del profesor Vernon y otros autores evolucionistas. El mismo se descompone de la siguiente manera:

1. *Introducción, nacimiento y despegue*: es una fase lenta, que tiene lugar cuando el producto o la innovación clave se hace presente en el mercado, significando riesgos para la empresa productora y para los clientes o usuarios. Las empresas guardan celosamente el secreto industrial en esa etapa; deben dedicar tiempo y recursos para perfeccionar el proceso de fabricación, y por esa causa ponen un precio elevado a los productos.

2. *Crecimiento*: es la etapa en la cual se estabiliza el proceso de producción en su conjunto debido a la estandarización del producto o del proceso. La producción se hace masiva. Las empresas que primero han introducido las innovaciones obtienen altas tasas de ganancia y otras empresas procurarán imitarlas.

3. *Madurez*: es una fase de difusión del producto o del proceso. La tecnología pasa a ser usada eficazmente por numerosas firmas y la tasa de crecimiento del producto se hace cada vez más lenta.

4. *Saturación y declinación*: ocurre cuando el producto o el proceso ha sido adoptado de manera generalizada por el mercado al cual se dirigía. Los compradores y usuarios se hacen más exigentes, y el periodo de declinación puede prolongarse en la medida en que prosiguen los esfuerzos de racionalización de la producción para reducir los costos. Puede intentarse poner un freno al proceso de saturación recurriendo a la publicidad, el cambio de *packaging* y la fidelidad de los clientes, adoptando ciertas innovaciones tecnológicas para aumentar la productividad, reduciendo los costos de producción con la ampliación del mercado del producto para obtener economías de escala, dirigiendo la producción hacia otros segmentos del mercado o internacionalizándola.

Conocimientos tácitos y codificados

Algunos aspectos del conocimiento científico están bien articulados y son descritos con detalle y de manera sistemática en los libros de texto de las escuelas técnicas y universidades. Cuando eso sucede se dice que están codificados. Pero otros son ampliamente tácitos, se han aprendido a través

de la experiencia e imitando las prácticas de los demás; los conocimientos de un buen ingeniero o de un buen diseñador, por ejemplo, no siempre pueden ser transmitidos en un algoritmo explícito. En cada tecnología se encuentran elementos de conocimientos tácitos o específicos que no siempre pueden ser escritos sobre papel y difundirse bajo la forma de informaciones públicas o ser protegidos por *brevets*. Para G. Dossi (Dossi *et al.*, 1988) el saber tácito está constituido por los elementos de saber y los conocimientos que están en posesión de una persona dada, que no son definidos, ni codificados, ni están publicados, difieren según los individuos y las personas no pueden formular plenamente, pero que pueden compartir con los colaboradores y colegas que tienen una experiencia común.

Los conocimientos tecnológicos asocian siempre la utilización de informaciones codificadas sacadas de la experiencia industrial anterior y de actividades específicas propiamente dichas, y saberes no codificados, en cierta medida implícitos o tácitos, que son específicos de una rama de industria en particular o de una empresa. Esto es lo que hace posible la acumulación de conocimientos.

Innovaciones incrementales y radicales

Las innovaciones *incrementales* son cambios menores y progresivos, pero que llegan a ser importantes cuando se acumulan; los mismos resultan de procesos de producción o pueden ser inducidos por los usuarios y consumidores, pero sólo aportan mejoramiento de los productos y procesos de fabricación preexistentes. No siempre ocurren como consecuencia de una investigación deliberada; son el resultado de propuestas de ingenieros y técnicos de producción y más frecuentemente de los trabajadores involucrados de modo directo en el proceso productivo, o han sido el resultado de iniciativas y propuestas de los consumidores o usuarios (*learning by doing* y *learning by using*).

Las *innovaciones radicales*, por el contrario, son el resultado de actividades deliberadas de investigación y desarrollo en grandes empresas privadas o públicas, universidades o laboratorios e implican un factor de novedad; las mismas se desarrollan de manera discontinua y estocástica, abriendo nuevas perspectivas de mercado y de inversiones cada vez que ocurren. Sus efectos pueden ser pequeños y localizados o estar en el origen de nuevas industrias y servicios, como por ejemplo los materiales sintéticos o la industria de semiconductores. Según Schumpeter, estas innovaciones surgen y se concentran en las fases profundas de la depresión y su difusión puede estar ligada a los *ciclos largos* del conjunto de la economía, la introducción de un nuevo producto, una modificación

cualitativa del producto existente, o la introducción de un proceso que constituye una innovación para la industria, la apertura de un nuevo mercado, el desarrollo de nuevas fuentes para proveerse de materias primas, y las evoluciones de la organización industrial (Schumpeter, 1934).

La microelectrónica es un claro ejemplo de una innovación radical. Las nuevas tecnologías informatizadas son fuertemente ahorradoras de fuerza de trabajo, reducen los costos del capital fijo y circulante, permiten producir más rápido y con una mayor calidad, y ahorran energía respecto de las tecnologías convencionales.

Las ciencias de la transferencia y la interfase ciencia-tecnología

Las diferencias que separan a la *ciencia*, que produce las formas generales fundamentales y abstractas del conocimiento, y la *tecnología*, que es específica y práctica, hacen necesario el desarrollo de las *ciencias de la transferencia*, situadas en la interfaz entre el conocimiento fundamental y la solución de los problemas concretos que ponen de relieve las necesidades económicas y sociales. Dentro de las ciencias de la transferencia se pueden distinguir, según la OCDE: las ingenierías: mecánica, civil, geotérmica, termodinámica, y la óptica: ciencias del láser e ingeniería eléctrica; la microelectrónica, automatización y robótica, informática y sistemas; las ciencias de los materiales, ingeniería química, química básica; las ciencias de la vida, biotecnología, microbiología, química farmacéutica, agronomía, veterinaria, y ciertos dominios de las ciencias económicas y sociales.

Las ciencias de la transferencia cumplen con las funciones de toda disciplina científica (creación, transmisión y organización de conocimientos), permiten mejorar los productos o emprender nuevos procesos, están abiertas a la interdisciplinaridad y se relacionan más directamente que las ciencias básicas con las demandas sociales y económicas.

UN MODELO ALTERNATIVO: EL CAMBIO TECNOLÓGICO COMO UN PROCESO INNOVATIVO (PI) QUE ATRAVIESA DIVERSAS FASES, ES ENDÓGENO, INTERACTIVO, ACUMULATIVO, SE BASA EN EL APRENDIZAJE

La innovación no es un acto puntual sino un proceso

Como postula Giovanni Dossi, el cambio técnico no es un proceso monótono y continuo; está marcado por la sucesión de fases que se inscri-

ben en los paradigmas tecnológicos, bajo la influencia de factores que tienen la propiedad de canalizar y de estimular las innovaciones en cierta dirección. Para G. Dossi dichas fases no son constantes a lo largo del tiempo, sino que evolucionarían de manera logística. Esos factores darían forma precisa a la organización de la producción, la división del trabajo dentro de la firma y entre firmas, y en última instancia al sistema productivo en sí mismo. A partir de estos procesos se pueden estudiar los diferentes “desempeños” de los países respecto al cambio del paradigma productivo (Dossi, 1982).

Una parte de la influencia de la ciencia sobre la tecnología se ejerce a través de aplicaciones no planeadas, pues a veces el conocimiento útil emerge de una investigación que es realizada puramente por curiosidad científica y varios años antes. Esto lleva a sugerir como medida de política que, a largo plazo, parecería ser más útil dejar un cierto margen de libertad a los buenos investigadores en ciencia básica, antes que fijarles objetivos rígidos a sus trabajos.

El informe Sundqvist de la OCDE, titulado *Nouvelles technologies des années 1990* (OCDE, 1988) ya había afirmado que existe “interdependencia de las mutaciones tecnológicas, económicas y sociales”, por el hecho de que

el cambio tecnológico no es un simple proceso de cambio económico, sino un proceso mucho más amplio de cambio social, que transforma en profundidad las necesidades, y donde la sociedad y el cambio técnico se modelan mutuamente. La innovación tecnológica, ya sea bajo el impulso de un descubrimiento científico, o bajo la presión de la demanda, emana de un sistema económico y social que no constituye una simple adaptación a los cambios desencadenados por factores exógenos.

Se trata de un proceso endógeno

A partir de ese informe se abre una nueva perspectiva para la economía y la sociología de las innovaciones: el cambio tecnológico podría ser concebido como un proceso que se desarrolla de manera endógena, desde el punto de vista tanto de la economía como de la sociedad. Las nuevas tecnologías no nacen entonces en el exterior del sistema económico, para penetrar luego en él. Por eso a mediano y a largo plazo el cambio tecnológico no puede ser tratado como un factor exógeno del crecimiento (OCDE, 1988).

El pi requiere una articulación entre ciencia y tecnología

Las relaciones entre la universidad, las instituciones de investigación científica y los sectores económicos desempeñan un papel importante en ese proceso de simbiosis entre la ciencia y la tecnología (OCDE, 1992). La distancia entre la ciencia, que produce formas generales, fundamentales y abstractas de conocimiento, y la tecnología, que es específica y práctica, hace necesario el desarrollo de las *ciencias de la transferencia*, situadas en la interfaz entre el conocimiento fundamental y la solución de problemas concretos que ponen de relieve las necesidades económicas y sociales.

El pi tiene un carácter reactivo y es interactivo

El citado informe redactado por Sundqvist puso de manifiesto que el cambio tecnológico constituye esencialmente, por su desarrollo y su concreción, un proceso social, que no es un acontecimiento puntual, y que debe ser considerado desde un punto de vista no estático sino dinámico (OCDE, 1992).

Años antes Rosenberg (1982) había puesto de manifiesto la existencia de un efecto de retroalimentación entre las diversas etapas ya mencionadas del proceso tecnológico, debido a las presiones del mercado (*demand pull*) frente a las innovaciones científicas (*science push*).

Su carácter endógeno contribuye a reforzar el carácter acumulativo del proceso, para lo cual se necesita un esfuerzo de difusión y absorción, teniendo en cuenta el medio ambiente económico y social. Como ya se mencionó, buena parte de los conocimientos científicos son "tácitos", es decir que están encarnados en las personas y por lo tanto se desplazan junto con ellas cuando cambian de empresa u organización.

El progreso científico y tecnológico no tiene entonces un carácter lineal, mecánico y determinista; las sociedades pueden influir en su desarrollo si adoptan decisiones en cuanto a la orientación. Pero como intervienen numerosos actores, y no sólo los conceptores tradicionales, se necesita realizar un gran esfuerzo de coordinación. Si se reconoce su carácter sistémico, cuenta no solamente la calidad de las partes que lo componen, sino sobre todo las relaciones que se establecen entre ellas, dado que la difusión y la velocidad de absorción y aplicación del cambio tecnológico están determinadas en primer lugar por el medio ambiente económico y social.

Se trata de un proceso que atraviesa por diversas fases

Ahora bien, la interfaz entre ciencia y tecnología se despliega a lo largo del tiempo, y para aplicarse requiere una continua acumulación de conocimientos. Por ejemplo, los principios científicos sobre los que se asentaba el láser ya fueron formulados por Einstein en 1916, pero los primeros láseres se pusieron a punto en 1960 y se desarrollaron con fuerza apenas en las últimas décadas (Brooks, 1995).

En el citado informe Sundqvist el proceso tecnológico se divide en tres etapas o fases que están estrechamente relacionadas entre sí:

La producción de conocimientos básicos o creación de tecnología

La norma actual en materia de generación de conocimientos ya no es un investigador individual, que actúa aisladamente; ahora es un trabajo de equipo de colaboradores apoyado en infraestructuras grandes, costosas y complejas. La investigación más creativa se sitúa en las fronteras entre varias disciplinas, y por eso la obtención de resultados está cada vez más condicionada por un esfuerzo de conjunto y el trabajo en redes. La cooperación entre países se convierte entonces en una necesidad y la ciencia se internacionaliza.

La experimentación de la pertinencia económica de las innovaciones por parte de las empresas privadas, a partir de procesos y productos

Los costos de la investigación fundamental son cada vez más grandes, pero al mismo tiempo la rentabilidad esperada es más riesgosa e incierta. Los ciclos de vida de los productos son cada vez más cortos, debido a los cambios en el nivel de la demanda y en los gustos de los consumidores; eso dificulta que se recuperen rápidamente los gastos hechos en materia de investigación. En varios sectores se observa que, debido a esa reducción del ciclo de vida de los productos, hay un "único ganador"; éste es el que atraviesa primero la barrera de entrada al mercado y se queda por un tiempo con todos los beneficios. Esa realidad lleva a que, para reducir los costos y la incertidumbre, las empresas cooperen o se fusionen o compren otras para beneficiarse con la internacionalización de la tecnología, o constituyan redes, lo cual puede dar lugar a situaciones oligopólicas o monopólicas.

La difusión de conocimientos de base y de sus aplicaciones en el nivel de la empresa

Buena parte de los nuevos productos y procesos basados en las tecnologías de la información y las biotecnologías proviene de innovaciones graduales cuyo ritmo aumentó mucho en los últimos años, gracias al *aprendizaje por el uso*. Los trabajadores de cada servicio de la empresa, incluido el de comercialización, participan de manera creciente en la concepción de los nuevos productos y la ampliación de la variedad de gamas, superando la antigua idea de que la innovación era el resultado de un trabajo aislado del servicio de concepción. A esto se agrega la información suministrada por —o extraída de— los consumidores.

El proceso que se da entonces en la realidad es muy diferente del propuesto por el modelo lineal, y ahora se podría esquematizarlo de la manera siguiente, reconociendo la existencia de retroalimentaciones:

Invención (ciencia básica) >

>innovación tecnológica de productos y de procesos>
(experimentación a cargo de una empresa para generar y poner en marcha nuevos productos y nuevos procesos)

> difusión>

>absorción> mediante los esfuerzos de:

> adaptación>

> transformación>

> adopción>

> aprendizaje>

>producción>

> comercialización

Pero este proceso no es instantáneo, y siempre transcurre un tiempo mayor o menor entre esas diversas fases. Para concretarse, necesita infraestructuras e instituciones.

El nuevo modelo interpretativo es reactivo e interactivo, e insiste en que la interpenetración entre ciencia básica, tecnología y producción es un rasgo permanente del sistema de innovación, y pone el acento en el papel central de la concepción industrial, en la retroalimentación entre las diversas fases de la innovación: las *finales*, relacionadas con el mercado, y las *iniciales*, derivadas del impulso de la tecnología, así como las numerosas interacciones entre la ciencia, la tecnología y actividades vinculadas con la innovación, ya sea dentro de las empresas o en el marco de su cooperación con el resto del sistema.

La innovación tiene un carácter acumulativo

La tecnología provoca, sólo de tanto en tanto, cambios radicales, pero a menudo los cambios que ocurren son de carácter incremental y acumulativos. Para desarrollar y utilizar eficazmente las nuevas tecnologías se requiere un proceso de aprendizaje largo y complejo, la generación de rutinas, seguido luego por otros de desarrollo y difusión:

1. aprendizaje *por la práctica* de la fabricación (o sea el aumento de la eficacia de las operaciones de producción);

2. aprendizaje *por el uso de los nuevos equipos* (aumento de la eficacia por la utilización de sistemas complejos);

3. aprendizaje *por interacción* entre los usuarios y los productores, para innovar en cuanto a los productos (variedad y nuevos productos);

4. el aprendizaje *por medio del aprendizaje* para asimilar las innovaciones realizadas fuera de la empresa, que depende de la investigación y desarrollo y de otras inversiones inmateriales.

La acumulación de las calificaciones, las experiencias y el saber hacer técnico, en el nivel de las firmas y del país, requiere tiempo y demanda perseverancia; es un proceso que acompaña el desarrollo económico en el largo plazo.

Las empresas que han acumulado tecnologías y han construido las calificaciones profesionales a través de los diversos procesos de aprendizaje están en mejores condiciones de reestructurarse y adaptarse para sobrevivir ante los cambios tecnológicos radicales. De allí la gravedad de la situación en los países en desarrollo, dadas las dificultades que tienen para generar un proceso acumulativo.

Similitudes y diferencias entre los dos modelos analizados

En lugar del modelo lineal basado en el impulso creado por la ciencia (*science push*), que se limitaba al acto aislado de innovación, y donde se pasaba directamente de la investigación al desarrollo del producto, la producción y la comercialización, el nuevo modelo es interactivo y pone el acento sobre la atracción ejercida por la demanda (*demand pull*), en el papel central de la concepción industrial, en la existencia de diversas fases, en las interrelaciones y retroalimentaciones entre ciencia, tecnología e innovación en el seno de la empresa.

Entonces, los principales determinantes del cambio técnico son básicamente dos: por una parte, la atracción creada por la demanda —que refleja las fuerzas del mercado a través de variaciones de la demanda, costos, precios relativos, oportunidades de inversión y de ganancias que

incitan a los empresarios a lograr avances técnicos—, y por otra el impulso ejercida por la ciencia y la tecnología y por la capacidad tecnológica, es decir el *saber*.

El enfoque sistémico parte de la existencia de un contexto económico que es el que determina el progreso tecnológico, el espacio en el cual la política y la tecnología se interrelacionan, y toma en cuenta las variaciones de la demanda en el mercado, así como el papel de las instituciones. Desde esta perspectiva, la tecnología tiene un carácter acumulativo; hay trayectorias tecnológicas que se van consolidando a medida que se acumulan los conocimientos y se obtienen rendimientos crecientes de adopción.

El aporte reciente de las teorías sociológicas y económicas

Recientes desarrollos de la teoría neoclásica pusieron el acento en el hecho de que los cambios tecnológicos producen externalidades positivas (es decir efectos positivos generados por una empresa, que no están ligados a los precios del mercado y que pueden ser apropiados por una empresa concurrente), y cambian la función de producción en el nivel macroeconómico. Las nuevas teorías del crecimiento (Romer, 1989) prestan una atención especial a las relaciones entre el crecimiento endógeno y las actividades de investigación y desarrollo. El cambio científico y tecnológico comenzó a ser tratado como otro verdadero factor de producción, es decir como una fuerza productiva cuyos resultados vienen acompañados de externalidades positivas.

La generación de un nuevo producto o un nuevo proceso de producción hecho por un empresario innovador no impide que otros puedan utilizarlo, acrecentando de esa manera su productividad. Eso se denomina un “rendimiento social” o un “beneficio social” de las actividades innovadoras, que rebasa ampliamente el rendimiento privado que corresponde al innovador (OCDE, 1992). Las innovaciones tecnológicas son apropiables y pueden difundirse entre los diversos empresarios; para defenderlas del uso libre y gratuito y recuperar parte de la inversión realizada, se las registra como *brevets*.

Por lo general el cambio tecnológico da lugar a la noción de *trayectorias tecnológicas*; los acontecimientos tecnológicos no se producen de manera aislada y la marcha del cambio tecnológico no es el resultado de un determinismo abstracto; aquéllos van a depender de factores económicos (los precios relativos, la distribución del ingreso), de valores sociales y de arbitrajes efectuados por el poder público y los actores económicos involucrados.

La asimilación de un saber exige siempre poseer un saber anterior, y por eso el progreso tecnológico es un proceso acumulativo, en el cual cada etapa es una base que prepara la siguiente.

Pero como afirmó Rosenberg (1982), la posibilidad de que esos conocimientos sean difundidos, adaptados, aplicados y asimilados depende de que exista una interfaz abierta y flexible entre la investigación científica básica y la aplicada. Los rendimientos económicos de la investigación científica básica no son directos e intrínsecos, pues su obtención depende de otros procesos de inversión en investigación aplicada y de la interacción que se establezca entre ambas actividades para aumentar la productividad y el rendimiento económico (Mansfield, citado en Pavith, 1995).

REFERENCIAS BIBLIOGRÁFICAS

- Amable, B., R. Barre y R. Boyer, "Social systems of innovation", documento preliminar presentado en el Seminar on Japanese Economy and Regulation Theory, Kumamoto Gakuen University, septiembre de 1995.
- , *Les systemes d'innovation à l'ère de la globalisation*, Economica, París, 1997.
- Andersen, E. S. y B. A. Lundvall, "Small national systems of innovation", en C. Freeman y L. Lundvall, *Small National Systems of Innovation*, Londres, 1988.
- Antonelli, C., "The emergence of the network firm", en C. Antonelli, *New Information Technology and Industrial Change: The Italian Case*, Kluger, Dordrecht, 1988.
- Becattini, G., *Mercato e forze locali: Il distretto industriale*, Il Mulino, Bologna, 1987.
- Boyer, R., "Technical change and the theory of regulation", en G. Dossi et al. (comps.), *Technical change and economic theory*, Pinter, Londres, 1988.
- Brooks, Harvey, "La relación entre ciencia y tecnología", *Economía de las Innovaciones* (Buenos Aires), núm. 4, 1995.
- Callon, Michel, *La science et ses réseaux: Genèse et circulation des faits scientifiques*, La Découverte, París, 1989.
- , "Investigación e innovación en Francia: Definición de un marco analítico", *Economía de las Innovaciones* (Buenos Aires), núm. 4, 1995.
- Chandler, A. D., "The visible hand. The managerial revolution", *American Business*, Harvard University Press, Cambridge, 1977.
- Chesnais, F., "Science, technology et compétitivité", *Revue* (París), núm. 1, 1986.
- , "Technological agreements, networks and selected issues in economic theory", en G. Dossi et al. (comps.), *Technical Change and Economic Theory*, Pinter, Londres, 1988.
- Crane, D., *Invisible Colleges*, Chicago University Press, Chicago, 1972.
- Dasgupta, P. y P. David, *Priority, Secrecy, Patents and the Socio-Economics of Science and Technology*, Stanford University, Center for Economic Policy, Research Paper, núm. 127, 1988.

- Dertouzos, M., L. Lester y R. Solow, *Made in America: Rapport of the MIT Commission on US Industrial Productivity*, The MIT Press, Cambridge, 1988.
- Dossi, Giovanni, "Technological paradigms and technological trajectories", "The determinants and directions of technological change and the transformation of the economy", en C. Freeman, *The Economics of Industrial Innovation*, Pinter, Londres, 1982 (1984).
- , The Nature of the Innovative Process, Parte IV, capítulo 10.
- Dossi, G., C. Freeman, Nelson Silverberg y L. Soete (comps.), *Technical Change and Economic Theory*, Pinter, Londres, 1988.
- Freeman, C., *The Economics of Industrial Innovation*, Pinter, Londres, 1982.
- Freeman, C., "Japan: A new national system of innovation", en G. Dossi et al. (comps.), *Technical Change and Economic Theory*, Pinter, Londres, 1988.
- Freeman, C., "The national system of innovation", *Cambridge Journal of Economics*, vol. 19, 5.24, 1995.
- Freeman, C., "Technologies nouvelles, cycles économiques longs et avenir de l'emploi", en J. Salomon y J. Schemeder, *Genevieve: Les enjeux du changement technologique*, Economica, París, 1985.
- Freeman, C. y L. Lundval, *Small National Systems of Innovation*, Londres, 1988.
- Group, Hariolf, "La tecnología a comienzos del siglo XXI", *Economía de las Innovaciones* (Buenos Aires), núm. 5, 1995.
- Kline, S. y N. Rosenberg, "An overview of innovation", en Landau y N. Rosenberg, *Positive Sum Strategy. Harnessing Technology for Economic Growth*, National Academy Press, Washington D. C., 1986.
- Lundval, B. A., "Innovation as an interactive process: From user-producer interaction to National System of Innovation", en G. Dossi y C. Freeman (comps.), *Technical Change and Economic Theory*, Pinter, Londres, 1988.
- Lundval, B. A. (comp.), *National Systems of Innovation. Towards a Theory of Innovation and Interactive Learning*, Pinter, Londres, 1992.
- Neffa, J. C., *Proceso de trabajo y economía de tiempo*, Humanitas/CREDAL, Buenos Aires, 1989.
- Nelson, R., "The simple economics of basic scientific research", *Journal of Political Economy*, núm. 67, 1959.
- , "Institutions generating and diffusing new technology", documento preparado para la conferencia Innovation, Diffusion, OCDE, Venecia, 1986.
- Nelson, R. y S. Winter, *An Evolutionary Theory of Economic Change*, Belknap Press of Harvard University Press, Cambridge, 1982.
- Nelson, R. (comp.), *National Innovation Systems: A Comparative Study*, Oxford University Press, Oxford, 1993.
- OCDE, *Manual de Oslo*, OCDE, París, 1997 (versión preliminar).
- , *Manual de Frascati*, OCDE, París, 1996.
- , *Manual de Canberra*, OCDE, París, 1995.
- , *Le programme technologie/économie. La technologie et l'économie. Les relations déterminantes*, OCDE, París, 1992.
- , *Informe Sundqvist, Nouvelles technologies: Une stratégie socio-économique pour les années 1990*, OCDE, París, 1988.

- Patel, Parimal y Keith Pavit, "Nature et importance économique des systèmes nationaux des innovations", *STI Revue*, núm. 14, 1994.
- Pavit, Keith, "Chips y trayectorias: How does the semiconductor influence the sources and directions of technical change?", en *Technology and the Human Prospect, Essays in Honour of Christopher Freeman*, Rod M. MacLeod (comp.), Frances Printer, Londres, 1986.
- Pérez, C., *Technical Change, Competitive Restructuring and Institutional Reforms in Developing Countries*, Publications SPS, Discussion Papers núm. 4, World Bank, Washington D. C., diciembre, 1989.
- Romer, P., *What Determines the Rate of Growth and Technological Change?*, Working Papers, WPS, 272, Banco Mundial, Washington D. C., 1989.
- Rosenberg, N., *Inside the Black Box: Technology and economy*, Cambridge University Press, Cambridge, 1982.
- , "Why do firms do basic research? (with their own money?)", *Research Policy*, 1990.
- , "Critical issues in science policy research", *Science and Public Policy*, vol. 18, núm. 6, 1991.
- Schumpeter, J., *The Theory of Economic Development*, Harvard University Press, Cambridge, 1934.
- Stiglitz, J., "Learning to learn, localised learning and technological process", en P. Dasgupta y P. Stoneman (comps.), *Economic Policy and Technological Performance*, Cambridge University Press, Cambridge, 1987.