

2

Cotec

Conceptos
básicos de
referencia para
el estudio de la
Innovación
Tecnológica

ESTUDIOS

**CONCEPTOS BÁSICOS DE REFERENCIA
PARA EL ESTUDIO DE LA
INNOVACIÓN TECNOLÓGICA**

INDICE

Agradecimientos.

I. Introducción.

II. Algunos conceptos fundamentales.

III. Efectos económicos de la innovación tecnológica.

IV. Políticas de ciencia y tecnología.

V. Indicadores de ciencia y tecnología.

VI. Resumen de la historia de la innovación tecnológica.

VII. Sugerencias para futuras lecturas.

AGRADECIMIENTOS

En el trabajo diario de Cotec es de gran utilidad un documento que recoja conceptos de referencia sobre innovación tecnológica. Por este motivo, su permanente actualización y revisión es un trabajo constante. Además y como se reitera más abajo, la difusión de conceptos básicos debe contribuir a extender y profundizar el debate nacional sobre la importancia para España de la innovación tecnológica, uno de los principales objetivos de Cotec.

Para elaborar la presente publicación, Cotec ha partido fundamentalmente de excelentes contribuciones de expertos españoles que habían sido solicitadas para otros objetivos, y de documentos internos. Varios autores verán en estas páginas ideas suyas y, en algunos casos, incluso párrafos más o menos completos.

Cabe, por tanto, citar aquí y agradecer estos escritos, sin cuya ayuda habría sido mucho más difícil materializar este documento y, sin duda, no se habría alcanzado el mismo nivel de calidad.

Especialmente importantes para este trabajo de Cotec han sido contribuciones de los profesores y expertos siguientes: Dña. Ana Barañano, Dra. Dña. Aurelia Modrego, Dr. D. Emilio Muñoz, Dr. D. Javier Ordóñez, Dr. D. Felipe Sáez, y Dra. Dña. Paloma Sánchez.

A todos ellos, la Fundación Cotec para la Innovación Tecnológica quiere hacer público su agradecimiento.

Finalmente, la Fundación Cotec quiere también agradecer el esfuerzo realizado por D. Angel Palacios, que se ha unido al equipo de Cotec para la preparación y redacción final de esta publicación.

Madrid, Septiembre de 1993

I.- INTRODUCCIÓN

Entre los cometidos principales de la Fundación Cotec para la Innovación Tecnológica se encuentra el de contribuir al debate nacional sobre la importancia de la innovación tecnológica para nuestro país. Ese debate debe ser una de las vías para reducir nuestro crónico déficit tecnológico y favorecer, así, el desarrollo económico y social de España.

Con este número de la colección "Estudios", la Fundación Cotec pretende facilitar la participación en dicho debate, difundiendo y precisando algunas ideas básicas sobre el propio concepto de la innovación tecnológica, y sobre las actividades institucionales y demás aspectos y circunstancias que la rodean.

El trabajo comienza analizando la terminología fundamental y precisando los conceptos más importantes. Se consideran especialmente la naturaleza del cambio y de la innovación, las características de la innovación tecnológica en particular, y la relación de ésta con el sistema de ciencia y tecnología, y con las actividades de I+D.

A continuación se comentan brevemente los efectos económicos que puede tener la innovación tecnológica en la sociedad. El efecto que se observa es principalmente un aumento de la competitividad de la nación, lo que redundaría en el incremento del bienestar de la sociedad. Sin embargo, pueden producirse desequilibrios en el reparto social de estos efectos, lo que requiere la intervención de la Administración Pública.

Tras ello, se analizan políticas de ciencia y tecnología destinadas a potenciar los avances tecnológicos y su aprovechamiento en la generación de innovaciones. En general, estas políticas se orientan a facilitar la conexión entre la actividad tecnológica y el tejido empresarial del país. De forma añadida, suelen conceder gran importancia al entorno económico y social para la generación y asimilación de resultados tecnológicos.

Se presentan después los principales indicadores utilizados para la evaluación de las políticas de ciencia y tecnología. Estos indicadores miden el sistema de ciencia y tecnología en tres momentos fundamentales: los recursos destinados a I+D (tanto materiales como humanos), los resultados tecnológicos intermedios obtenidos (en términos de patentes y publicaciones), y el impacto del sistema (a través de la Balanza Tecnológica de Pagos y del comercio de productos de alta tecnología).

Por último, y con objeto de contribuir a formar una opinión de lo que la innovación tecnológica ha sido para nuestra cultura, se incluye un muy breve resumen de la historia de la tecnología.

II.- ALGUNOS CONCEPTOS FUNDAMENTALES

¿Qué elementos están involucrados en la innovación y en el cambio tecnológico? ¿Qué entendemos en concreto por estos dos términos? Estas cuestiones son fundamentales para entender la importancia de la tecnología en el mundo actual. Responderlas permite, por un lado, identificar los factores que intervienen en el proceso de innovación y los medios más adecuados para estimular cada uno de ellos. Por otro lado, también facilita la comunicación y el trabajo conjunto de los diferentes agentes sociales.

El propósito de este capítulo es responder someramente a las anteriores cuestiones, centrándose en particular en los siguientes conceptos: naturaleza del cambio y de la innovación, peculiaridades de la innovación tecnológica en particular y características fundamentales de las actividades de I+D.

Naturaleza del Cambio: Invención, Innovación y Difusión

En el proceso de cambio tecnológico, existen tres momentos o estados fundamentales, invención, innovación y difusión, que no deben entenderse como fases de un proceso que fluye de forma unidireccional y sin realimentaciones, sino como un esquema organizativo de utilidad para el análisis del cambio.

- La invención es la creación de una idea potencialmente generadora de beneficios comerciales, pero no necesariamente realizada de forma concreta.
- La innovación consiste en la aplicación comercial de una idea. Se trata de un hecho comercial y social que crea riqueza y no conocimiento.
- La difusión se basa en la diseminación en la sociedad de la utilización de una innovación. Es el estado en el cual se ve afectada la economía, obteniendo los beneficios de la innovación.

El progreso de la economía de un país depende de su capacidad para realizar estas tres actividades, que no tienen por que producirse con igual intensidad en diferentes organizaciones o sociedades. Las tres precisan recursos y habilidades de naturaleza diferente, por lo que los mecanismos de estímulo son distintos para cada una de ellas.

La importancia relativa de las tres actividades también es diferente. La innovación demanda más recursos que la invención, pero no es necesario que el innovador haya realizado previamente la invención, sino que puede tomar o adaptar una ya realizada por otro. La difusión, por su parte, es más crítica que la innovación, puesto que es el requisito imprescindible para que la sociedad reciba los beneficios de ésta.

Sin embargo, para que la difusión tenga plenos efectos en una economía moderna si es necesario que los agentes de la nación hayan efectuado el paso previo de la

innovación. Por este motivo, la innovación es el elemento que se considera más a fondo en los estudios del cambio, hasta el punto de que, a menudo, se utilizan indistintamente los términos innovación y cambio como sinónimos.

El cambio en una empresa puede darse a través de innovaciones que se producen por primera vez en la sociedad o a través de innovaciones que han surgido en otro entorno y que la empresa asimila en sus prácticas por primera vez. Esta es la razón por la que existe un doble punto de vista a la hora de identificar y valorar las innovaciones: las que son nuevas para la sociedad y las que son nuevas para la institución que las realiza.

Si bien las primeras tienen más mérito y son las que suelen dar más beneficios, no es menos cierto que las segundas también requieren un cierto esfuerzo, debido al grado de incertidumbre que imponen a la organización, y también proporcionan importantes beneficios. Por ello, es importante la revisión continua de innovaciones introducidas en otros entornos para poder aprovecharlas lo antes posible, dependiendo del nivel de incertidumbre que la organización sea capaz de aceptar.

Tipos de innovación

El cambio, o la innovación, puede producirse de varias maneras diferentes:

- Introducción de un nuevo producto, o de una nueva característica en un producto, con el que los consumidores no estén aun familiarizados (innovación de productos).
- Introducción de un nuevo método de producción, es decir, uno que no ha sido probado todavía en la rama industrial que se considera (innovación de procesos).
- La apertura de un nuevo mercado, es decir, un mercado en el que la rama industrial que se considera no había entrado todavía, aunque el mercado pudiera existir previamente.
- El empleo de una nueva fuente de materias primas, de factores de producción o de productos semimanufacturados, independientemente de si existía ya con anterioridad o ha tenido que ser creada.
- El desarrollo de un nuevo tipo de organización como, por ejemplo, la creación de una nueva posición en el mercado.

De estos cinco tipos de innovación, la innovación tecnológica se asocia con los dos primeros: innovación de procesos e innovación de productos, que son los relacionados directamente con los medios físicos. Este es el tipo de innovación que se considera en este estudio. Para llegar a una caracterización más adecuada del mismo, es necesario profundizar en los conceptos de técnica, tecnología y ciencia.

¹Técnica, Tecnología y Ciencia

La técnica y la tecnología se entienden generalmente como los medios - tanto medios físicos, dispositivos y herramientas como el conocimiento que se tiene sobre ellos -que intervienen en la producción de unos resultados a partir de unas entradas (tecnología de procesos) o en el funcionamiento de productos o servicios (tecnología de productos).

Tradicionalmente, estos medios estaban basados fundamentalmente en habilidades manuales y visuales y en la experiencia práctica que se transmitía de generación a generación por algún tipo de aprendizaje basado en la práctica, a lo que los sajones denominan "learning by doing". Cuando es ésta la situación, se habla de técnica.

La expresión tecnología, con su connotación de un sistema de aprendizaje más formal y sistemático, sólo comenzó a ser de uso general cuando los mecanismos de producción comenzaron a ser de una complejidad tal que los métodos tradicionales de aprendizaje no eran suficientes. Por otro lado, tecnología también connota un cierto dinamismo por el que la base de conocimiento sobre la que descansa no se considera terminada, sino en continuo desarrollo.

Por lo tanto, tanto técnica como tecnología se refieren al conjunto de medios y conocimientos orientados a la consecución de un fin de índole práctico. Sin embargo, en el caso de la tecnología esta base se halla en plena evolución, siendo necesario tener un conocimiento profundo de lo que se hace y por qué se hace. Por el contrario, cuando estos mecanismos se consideran suficientemente probados y conocidos y se pueden aprender mediante la práctica, estamos ante una técnica.

Un buen nivel técnico consiste, entonces, en la capacidad de empleo de métodos, instrumentos y equipos para obtener resultados prácticos. Un buen nivel tecnológico exige además la comprensión profunda de las limitaciones y perspectivas de dichas habilidades y la capacidad de mejora de las mismas. La palabra tecnología implica una capacidad de cambio y mejora del conocimiento incluido en las técnicas².

Respecto a la ciencia, si la tecnología se asocia en general con el proceso de invención, innovación y difusión para la obtención de fines prácticos, la ciencia se asocia con el conocimiento base. La principal diferencia radica en los objetivos de las comunidades de personas que trabajan en una o en otra.

Para los tecnólogos, el valor de innovar reside no sólo en la consecución de un fin práctico, sino en la retribución particular que se obtiene. Para la comunidad científica,

¹ El término técnica en su sentido más general se refiere al conjunto de reglas y conocimientos necesarios para la realización de cualquier tipo de actividad. Así, existe una técnica de la pintura, de la música, del deporte, de las finanzas etc. Una acepción particular es la relacionada con las actividades que utilizan los medios físicos de la naturaleza para producir resultados prácticos. Éste es el sentido con el que se utiliza en este estudio.

² Esta distinción está plasmada en la etimología de las dos palabras que indica que tecnología (tecnología) es la ciencia de la técnica.

por el contrario, el conocimiento es un bien público que debe perseguirse en sí mismo, y los científicos compiten por ser los primeros en publicar sus ideas y en obtener el reconocimiento público.

Por lo tanto, las políticas científicas y tecnológicas deben tener orientaciones diferentes puesto que los científicos y los tecnólogos tienen diferentes sistemas de incentivos. Sin embargo, ambas políticas no deben considerarse de forma aislada, ya que ciencia y tecnología están íntimamente relacionadas en el proceso de cambio técnico desde la mitad del siglo pasado.

Clasificaciones de las Innovaciones Tecnológicas

De acuerdo con lo expuesto hasta aquí, la innovación tecnológica consiste en la introducción comercial de nuevos productos y procesos obtenidos a partir de la creación de conocimiento sobre los medios empleados.

Se han realizado múltiples clasificaciones de las innovaciones tecnológicas. La primera de ellas, ya comentada, utiliza como criterio el objeto de la innovación, y los dos tipos que considera son innovaciones de productos y de procesos. Una segunda clasificación atiende al impacto que supone la innovación, y considera cuatro tipos:

- Innovación Progresiva o Incremental. Se trata de pequeñas mejoras introducidas en productos y procesos. Si bien aisladamente son poco significativas, se suceden continuamente de forma acumulativa y constituyen la base permanente del proceso innovador. Un ejemplo puede ser los continuos cambios introducidos en las redes telefónicas para mejorar la calidad del sonido.
- Innovación Total o Radical. Son innovaciones que crean nuevos productos y procesos que no pueden entenderse como una evolución natural de los que existían anteriormente. Aunque no se distribuyen uniformemente en el tiempo como las incrementales, sí surgen frecuentemente. Un ejemplo puede ser la televisión.
- Nuevo sistema tecnológico. Se trata de un tipo de innovación que tiene gran influencia en todo el sistema económico. Afecta a las condiciones de producción no sólo en los sectores en los que se utiliza principalmente, sino en muchos otros tanto industriales como de servicios. De hecho, más que innovaciones aisladas, provocan una serie de innovaciones asociadas sobre una base tecnológica común. Los materiales sintéticos son un ejemplo de este tipo.
- Revoluciones tecnológicas. Estas innovaciones ocasionan cambios en los paradigmas tecno-económicos asociados con los ciclos económicos largos. Dos ejemplos pueden ser la máquina de vapor y el transistor.

Una tercera clasificación atiende a los resultados tecnológicos en los que se basa la innovación:

- Basadas en hallazgo tecnológico. Parten de nuevos fenómenos físicos o de fenómenos que se explotan por primera vez. Un posible ejemplo es el transistor.
- Basadas en fusión tecnológica. Consisten en la unión de varias tecnologías diferentes para la producción de un grupo más complejo de productos tecnológicos. Como ejemplo se puede considerar la mecatrónica fusión de la mecánica y la electrónica.

La cuarta y última clasificación que vamos a comentar utiliza como criterio el origen o la motivación de la innovación. La innovación tecnológica puede tener su origen en procesos de invención desencadenados bien por la aparición de una oportunidad tecnológica, o por la detección de una necesidad en el mercado, lo que da lugar a una nueva clasificación:

- Impulsadas por la Tecnología. Estas innovaciones surgen tras la aparición de nuevos resultados tecnológicos que no habían sido buscados para satisfacer ninguna necesidad concreta. Un ejemplo es el uso del transistor en los circuitos electrónicos. En este caso, la invención se basa en un descubrimiento y en la búsqueda de su aplicación.
- Atraídas por el Mercado. Se trata de innovaciones en las cuales el trabajo de desarrollo de tecnología ha ido dirigido desde el principio a la satisfacción de una necesidad y al abastecimiento de un mercado. Un ejemplo es el motor de inyección. Aquí es necesario evidenciar una necesidad no atendida debidamente y buscar la tecnología adecuada.

La innovación atraída por el mercado es generalmente de naturaleza incremental, tiene menos riesgo y una probable materialización a corto plazo. La innovación dirigida por la tecnología es frecuentemente radical, con alteraciones significativas en la forma de resolver una necesidad conocida y no suele acumularse fácilmente a otras innovaciones de naturaleza semejante. Al mismo tiempo, suele suponer un riesgo comercial con un coste frecuentemente elevado, pero históricamente, las innovaciones radicales con éxito han supuesto enormes beneficios.

El mundo de hoy está caracterizado por la innovación atraída por el mercado, incremental y producida por fusión de tecnologías. Todos los especialistas parecen convencidos de la mayor eficacia innovadora e industrial de este tipo de innovación, que exige comportamientos empresariales distintos de los tradicionales, que se orientaban más hacia la innovación impulsada por la tecnología, radical y basada en nuevos hallazgos tecnológicos.

Por otro lado, la invención del transistor y la introducción de la microelectrónica han generado una infinidad de innovaciones repartidas en toda la sociedad que han producido lo que se ha dado en llamar la revolución de la tecnología de la información

y la sociedad de la información. Algunos expertos ven esta evolución como un cambio de paradigma tecno-económico que precisa cambios profundos en las estructuras institucionales, tanto sociales como económicas, para su aprovechamiento pleno.

La naturaleza de la Investigación y Desarrollo (I+D)

En su libro Innovación: la Estrategia del Tiempo (Ediciones Polio, 1987), R. Foster, de McKinsey, dice que "para muchos observadores, la innovación es un proceso solitario que exige creatividad y genio, quizás incluso grandeza". Desde su punto de vista, no puede ser administrada o anticipada, sino sólo deseada y quizás facilitada. En la citada obra, este autor reconoce "que la innovación nace" de la grandeza individual, pero afirma "que se produce en el marco del mercado y que es un acontecimiento económico repetible".

La forma sistemática de atacar el problema de la innovación tecnológica se ha denominado tradicionalmente I+D, función que las empresas y los Estados han dejado en manos de unidades organizativas creadas al efecto y cuya época de esplendor correspondió con el final de la II Guerra Mundial, cuando el radar, el caucho sintético y, sobre todo, la bomba atómica demostraron el poder del avance tecnológico.

Desde entonces, la función de I+D ha buscado los siguientes objetivos:

- Generar nueva tecnología, en el sentido descrito anteriormente.
- Crear nuevos procesos y productos.
- Crear los conocimientos necesarios para asimilar tecnologías generadas por otros.
- Seguir la evolución tecnológica mundial, para entender la situación de los mercados.

Esta multiplicidad de objetivos hace que la I+D deba incluir una serie de actividades que persiguen resultados diferentes aunque conectados entre sí, y que tradicionalmente y de forma genérica reciben las denominaciones:

- Desarrollos de Productos y Procesos,
- Desarrollos Exploratorios,
- Investigación Aplicada, e
- Investigación Básica,

en una gradación que va desde la más inmediata a la más alejada de la aplicación empresarial de sus logros.

El Desarrollo de Productos o Procesos incluye la aplicación sistemática de conocimientos técnicos para crear productos, servicios o procesos productivos de nuevas o características similares a los ofrecidos en el mismo u otros mercados. La gestión (management) de estas actividades se considera cercana a la utilizada para otras funciones empresariales.

El Desarrollo Exploratorio está orientado a demostrar la viabilidad, tanto técnica como comercial, de nuevos conceptos relativos a futuros productos, servicios o procesos. Se espera de él la creación de lo que recientemente han sido denominados "Demostradores", cuya producción industrial no se considera todavía necesaria. Por su creatividad y falta de exigencias de repetibilidad de resultados difícilmente admiten los métodos de gestión habituales en la empresa.

La Investigación Aplicada tiene como misión dar utilidad a los conocimientos adquiridos por la Investigación Básica, demostrando cuáles pueden ser sus aplicaciones y sus ventajas sobre soluciones ya conocidas.

Como es bien sabido, la Investigación Básica, llamada muchas veces científica, tiene como objetivo el conocimiento de las causas y las características de los fenómenos, y contrariamente a las actividades anteriormente descritas, busca el saber y no su aplicación.

A partir de estas definiciones resulta evidente que el conocimiento se va haciendo más útil en la medida que se avanza desde la Investigación Básica al Desarrollo de Productos o Procesos.

Idealmente, un fenómeno sería descrito y sus causas averiguadas en un trabajo de Investigación Básica, por ejemplo la conducción eléctrica en los semiconductores.

La comprensión del funcionamiento de los diodos de galena fue fruto de una actividad de Investigación Aplicada, al evidenciar por una casualidad el efecto transistor, lo que dio más sentido de aplicación a este trabajo.

Los primeros esfuerzos en desarrollar la denominada tecnología planar, base de toda la Microelectrónica actual, fueron de Desarrollo Exploratorio y demostraron las ventajas de las protecciones que proporcionaba el óxido de silicio.

Finalmente, el diseño de diferentes transistores que mostraban características adecuadas para trabajar con señales de alta frecuencia, para amplificar señales muy débiles o para trabajar con rápidas señales digitales, son ejemplos de Desarrollo de Productos, como también lo son de Desarrollo de Procesos los trabajos que han puesto a punto métodos de crecimiento de óxido de silicio libre de cargas o de alta tensión de disrupción.

Desde el punto de vista empresarial, estas etapas de I+D tienen también un importante sentido. Una empresa que quiere actuar independientemente en su mercado precisa, como mínimo, el Desarrollo de Productos para poder decidir los momentos de introducción o sustitución de su oferta.

Tendrá una mayor potencialidad si es capaz de adelantar oportunidades futuras llevando a cabo Desarrollos Exploratorios cuyos Demostradores le harán comprender

la idoneidad técnica o comercial de las ideas. Esta fase ha sido la denominada I+D precompetitiva en el lenguaje de la C.E., siendo la razón para impulsarla la posibilidad de compartir altos costes en actividades de elevado riesgo.

La Investigación Aplicada ha tenido su ámbito natural en los Centros Públicos de I+D, aunque muchos resultados han sido fruto de los Departamentos de I+D de grandes corporaciones, como el ejemplo citado que, como otros muchos fueron fruto de los Bell Labs de AT&T.

La empresa obtendrá frutos de su I+D en la medida en que obtenga productos y procesos. Una actividad de Desarrollo Exploratorio o de Investigación Aplicada que no puede continuarse en un Desarrollo de Productos o Procesos carece de sentido empresarial. Todavía más, un Desarrollo de Productos o de Procesos que no cuente con una Ingeniería que establezca pautas de producción, tampoco tiene sentido.

La Ingeniería es en realidad, desde el punto de vista empresarial, la primera etapa de la innovación tecnológica. Muchas empresas han sido innovadoras sin contar con capacidad de I+D, alterando pautas de producción y obteniendo así mejores costes y hasta, algunas veces, cambios en ciertas características de sus productos.

III.- EFECTOS ECONÓMICOS DE LA INNOVACIÓN TECNOLÓGICA

Ya se ha reiterado que en una unidad productiva, la innovación tecnológica se puede dirigir a la mejora de los procesos (innovación de procesos) o a la creación de nuevos productos (innovación de productos). Estas innovaciones generan siempre una serie de efectos que posteriormente trascienden a la propia unidad productiva, afectando a todo el sistema económico y social.

La innovación de procesos provoca, en primer lugar, una reducción de los costes de producción de bienes y servicios, lo que a su vez causa una reducción en el precio final de los productos y, por tanto, un aumento de la demanda. Cuánto aumente la demanda y cuánto se reduzca al precio dependerán de la sensibilidad de la demanda respecto del precio.

La innovación de productos provoca la aparición de nuevos bienes y servicios en el mercado, lo que trae como consecuencia un desplazamiento de la demanda que antes estaba centrada en otros productos.

Ambos tipos de innovaciones en la unidad productiva alcanzan a todo el entorno socioeconómico del país. Los residentes se ven afectados en tanto receptores de renta y en tanto agentes de consumo e inversión. Las otras unidades productivas dentro del mismo sector también se ven afectadas, pues se ven obligadas a innovar y a producir más barato para mantener sus cuotas de mercado. Por último, los efectos también llegan al resto de las ramas productivas, fundamentalmente a través de las nuevas demandas de los factores de producción (especialmente el trabajo) que son comunes a todas ellas.

Seguidamente, se comentan someramente los diferentes efectos de las innovaciones tecnológicas de acuerdo con la siguiente clasificación:

- Efectos sobre el crecimiento, mediante el estímulo de la demanda y por tanto de la producción.
- Efectos sobre la productividad y la competitividad, mediante la reducción de los costes.
- Efectos sobre la renta y el bienestar, mediante el aumento de la producción del país y la aparición de productos nuevos y de más calidad.
- Efectos sobre el empleo y los mercados de trabajo, mediante el estímulo de la demanda de productos y las nuevas demandas del factor trabajo.
- Efectos sobre las necesidades de formación y cualificación, mediante la demanda de trabajadores con conocimiento de las nuevas técnicas.
- Efectos sobre la distribución social, mediante la aparición de nuevos sectores y la desaparición de otros.

Efectos sobre el crecimiento

La innovación se dá siempre acompañada de una inversión en bienes tangibles, ya sean bienes de capital o de equipo. Esta inversión se transmite a los sectores suministradores, en los cuales se produce un aumento de producción, afectando a su vez a sus propios proveedores. De esta forma, el efecto inicial se transmite en cascada a lo largo y ancho del país, actuando sobre toda la economía con un factor multiplicador.

Otro efecto añadido que se produce es un cambio sustancial en la estructura productiva de las economías, con el avance de algunas ramas y el retroceso de otras. En general se observa el avance de las ramas industriales y la reducción de la importancia relativa de los sectores agrarios.

Efectos sobre la productividad y la competitividad

La innovación produce un ahorro de factores de producción (energía, trabajo, etc.) por unidad de producto, con lo que se produce un aumento de la productividad y una disminución de los costes. Esto permite, a su vez, una disminución de los precios de los bienes y servicios finales. El aumento de productividad se traduce en una mayor competitividad que estimula a otras empresas y sectores del país a innovar y aumentar su propia productividad, todo lo cual revierte en un incremento global de la productividad y de la competitividad del sistema productivo nacional.

El aumento de la competitividad del país es lo que puede permitirle mantener una posición favorable en el contexto internacional y ganar importantes cuotas de mercado. El país se especializa en los sectores en los que tiene una posición más sólida, alcanzando economías de escala que le permiten seguir aumentando la productividad y la competitividad. Las consecuencias que se producen en la relación real de intercambio también son positivas, como muestra la experiencia empírica. Por último se observa una convergencia tecnológica entre los países más innovadores, que relega a un segundo plano a los países que dedican menos esfuerzos al desarrollo tecnológico.

Efectos sobre la renta y el bienestar

El crecimiento y el aumento de la productividad y la competitividad frente a otras naciones producen un aumento de la renta de los residentes del país a través de salarios y beneficios empresariales y a través de un mayor poder adquisitivo. De forma añadida, se produce un incremento de la calidad de los productos, lo que redundará en un aumento del bienestar general.

Efectos sobre el empleo y los mercados de trabajo

La innovación de procesos produce un ahorro inmediato del trabajo necesario por unidad de producto lo que se interpreta a menudo en el sentido de que las innovaciones crean desempleo. Sin embargo, la reducción de los costes aumenta a su vez la demanda de productos. Si la sensibilidad de la demanda es suficiente, el efecto será un aumento tal de demanda que se precisará una cantidad superior de trabajo que la que existía en origen, con la consiguiente creación neta de empleo.

Lo mismo ocurre con la innovación de productos. Al crearse productos nuevos, se crean nuevas componentes de la demanda y, si la demanda de los productos anteriores no se ve demasiado afectada, la demanda agregada aumenta, produciéndose de nuevo una creación neta de empleo.

Un efecto añadido, y ya comentado, que producen los avances tecnológicos son cambios en la estructura productiva que alteran la distribución de empleos entre sectores. La consecuencia inmediata es que se crean desajustes entre los tipos de empleo necesarios para la nueva estructura productiva y los perfiles de los trabajadores existentes en la nación.

Efectos sobre la necesidad de formación

Las innovaciones tecnológicas producen la aparición continua de nuevos tipos de trabajos, lo cual genera la necesidad de nuevas cualificaciones y conocimientos. En la actualidad, este fenómeno se está haciendo notar poderosamente en la mayoría de los países. Como resultado de ello, es necesaria una actualización continua de la formación de los empleados durante su vida profesional. De forma añadida, los sistemas educativos se orientan hacia una formación general que permita la adaptación de los futuros trabajadores a los continuos cambios en los contenidos de los puestos de trabajo.

Efectos sobre la distribución social

Durante la asimilación del progreso técnico, surgen desajustes y efectos de distribución asimétrica en la sociedad que pueden resultar dolorosos. Junto a unos sectores que florecen, se produce la desaparición de otros sectores tradicionales, con sus secuelas para el empleo en las zonas de localización, y la aparición de desigualdades en el acceso a los beneficios derivados de las innovaciones. De ello se deriva la necesidad de que los poderes públicos introduzcan elementos correctores de las desigualdades que se provocan.

IV.- POLITICAS DE CIENCIA Y TECNOLOGÍA

El modo en que se gestionen y organicen los recursos dedicados a potenciar el sistema de ciencia y tecnología es esencial para la generación y difusión de innovaciones, es decir, para el progreso técnico del país. Un sistema nacional de innovación bien gestionado puede permitir que un país progrese rápidamente, aunque sus recursos sean limitados gracias a la combinación efectiva de la adquisición de tecnología importada y de los trabajos propios de adaptación y desarrollo. Es, por tanto, necesaria una política que asegure la optimización de los recursos disponibles, determinando unos objetivos realistas que se correspondan con las necesidades y limitaciones del país. No es fácil, sin embargo, definir estas políticas. Una actividad esencial para ello es el análisis de las políticas que han seguido los países más adelantados en este campo, para así inspirar la determinación de las propias.

En este capítulo se presentan, en primer lugar, las características comunes de los países con mayor capacidad de innovación tecnológica. A continuación, se analizan los dos ejes alrededor de los cuales se desarrollan sus políticas de ciencia y tecnología. Para terminar, se presenta brevemente la situación actual de las políticas de I+D en España.

Características más importantes de los países de mayor capacidad tecnológica

Analizando las políticas de I+D de los países más desarrollados, se observa que el gasto de I+D ha sido razonablemente estable durante los últimos veinte años. El principal motor de este gasto han sido las empresas, aunque la inversión en I+D ha sufrido últimamente cierto estancamiento en comparación con el producto industrial.

En general se observa que la I+D es una de las variables económicas más concentradas. Los siete países mayores representan el 90% del total de la inversión en I+D. Sin embargo no ha ocurrido lo mismo con el poder tecnológico, pues si a comienzos de los años 80 las exportaciones de los productos industriales intensivos en I+D de los siete primeros países suponían un 80%, al final de la década este porcentaje ha disminuido.

Esto significa que no es esencial tener una inversión alta en I+D siempre que se tenga capacidad para asimilar lo que otros han descubierto. Sin embargo, los datos muestran que no es ése el mejor camino para conseguir un alto desarrollo tecnológico, pues son muy pocos los países capaces de mantener un superávit sostenido en la balanza de pagos. Las naciones que mejores resultados han obtenido en la consecución de un rápido cambio tecnológico durante los últimos 10 años comparten, en general, los siguientes rasgos:

- Gran aprecio social por la tecnología.
- Fuerte sentido de cooperación en el diseño y aplicación de políticas públicas.
- Cierta resistencia a la penetración extranjera en la economía nacional.
- Gran receptividad a los descubrimientos técnicos realizados fuera de sus fronteras.

- Existencia de gobiernos bien integrados en la sociedad y muy receptivos a sus necesidades.

De esta manera, parece clara la importancia de la sintonía entre el entorno socioeconómico y las políticas de I+D para el éxito de éstas. En general, las políticas de ciencia y tecnología seguidas por los países de la OCDE se centran fundamentalmente en dos aspectos. Por un lado, en la conjunción entre la política de ciencia y tecnología y los modelos de ventaja competitiva de los sectores productivos nacionales. En segundo lugar, en la importancia que se le concede al entorno económico y social para el éxito tecnológico. Estos aspectos se comentan en los apartados siguientes.

Conjunción de las políticas de I+D con los modelos de ventaja competitiva

Las políticas de ciencia y tecnología deben tener en cuenta la situación competitiva de los sectores del país, la capacidad de sus empresas y de sus centros de investigación, así como el grado de interrelación entre empresas y centros de investigación para que las primeras puedan aprovechar los resultados de los segundos. En este sentido, las principales actuaciones se dirigen a:

- Valorar la investigación básica.
- Fomentar la relación entre centros de investigación y la industria
- Fomentar la investigación dentro de las empresas.
- Aumentar la importancia de la investigación industrial frente a la de defensa.
- Dar prioridad a la difusión de la I+D.

Valorar la Investigación Básica

Se tiene en cuenta que el conocimiento básico, y por tanto la investigación, es imprescindible para el progreso económico. Por otro lado, se debe orientar la investigación básica de acuerdo con la forma en la que se ha logrado entender en la actualidad el proceso de innovación. Ultimamente, se ha introducido el concepto de investigación estratégica, que resalta la idea de que la investigación debe enfocarse en áreas basadas en principios nuevos y de gran potencial para aplicaciones.

Fomentar la relación entre centros de investigación y la industria

Es imprescindible que la investigación se desarrolle en contacto con el mercado, de manera que las áreas que se desarrollen se elijan de entre las de mayor utilidad potencial para la sociedad. Para ello, se desarrollan las siguientes acciones fundamentalmente:

- Creación y fomento de centros de investigación vinculados a agrupaciones industriales o en tecnologías de aplicaciones múltiples.
- Desarrollo de contratos de investigación entre empresas y centros de investigación, y programas de intercambio de investigadores y personal.

Fomentar la investigación dentro de las empresas

Un objetivo compartido por los gobiernos de los distintos países es fomentar la investigación en las empresas, especialmente en las PYMES. Este objetivo está fundamentado en que al estar las empresas mucho más próximas al mercado, conocen mejor las áreas donde la investigación es más productiva.

Para llevar a cabo este objetivo, la administración debe analizar con cuidado sus actuaciones. Su papel debe enfocarse a optimizar el funcionamiento del mercado sin afectar la libre competencia. Las medidas que se han empleado más frecuentemente son:

- Subvenciones a las empresas
- Degradaciones fiscales
- Compras públicas
- Programas públicos de I+D con participación empresarial.

Aumentar la importancia de la investigación industrial frente a la de defensa

Se ha reducido la importancia de la investigación en defensa como motor industrial. La razón principal es haber observado que las necesidades de la defensa no son coincidentes con las de la industria, con lo que se espera más efectividad de la investigación que se realiza teniendo como objetivo desde el comienzo la aplicación civil.

Dar prioridad a la difusión de la I+D

El desarrollo tecnológico no sólo depende del nivel de las tecnologías que se producen, sino de la capacidad de la nación para aprovechar los resultados tecnológicos. El caso de EE.UU es un buen ejemplo de país que teniendo un sistema de innovación capaz de producir tecnologías muy avanzadas, no ha obtenido las ganancias económicas y sociales esperadas. Por lo tanto, se deben fomentar aquellos mecanismos que consoliden el proceso de difusión de los avances tecnológicos.

Importancia del entorno económico y social en las políticas tecnológicas

Los aspectos estructurales del entorno económico y social que más influyen en la génesis y en el aprovechamiento de nuevas tecnologías son:

- Recursos humanos
- Infraestructura
- Información
- Sistema organizativo

Recursos humanos

La existencia de recursos humanos dotados de una instrucción y una formación adecuada es de importancia crítica para la creación y difusión de innovaciones tecnológicas. La continua evolución de tecnologías y aplicaciones en la sociedad causa cambios constantes en la naturaleza de las cualificaciones demandadas, lo que provoca la necesidad de formación permanente y de reciclaje. En consecuencia, es imprescindible coordinar el sistema educativo con el mercado de trabajo para desarrollar y utilizar eficazmente los recursos humanos en el proceso de innovación.

Infraestructuras

Transportes avanzados, logística y telecomunicaciones son aspectos esenciales para la introducción de tecnología moderna en el sector productivo y para alcanzar un nivel efectivo de competitividad en los mercados internacionales. En este sentido, es de señalar cómo, en algunos países, proveedores privados, grupos de empresas y administraciones locales están movilizando últimamente sus recursos para establecer infraestructuras especializadas.

Información

Otro aspecto fundamental es la comunicación a las empresas de la información y de las cuestiones relevantes para su progreso. Un ejemplo paradigmático en este sentido es el MITI (Ministry of International Trade and Industry) en Japón, una de cuyas principales acciones es la dirección o coordinación de innumerables estudios sobre nuevas tecnologías, tendencias en la competencia internacional y temas de futuro que reciben la máxima difusión.

Sistema organizativo e institucional

Se precisa un nuevo estilo organizativo que fomente y aproveche los conocimientos y la formación de los trabajadores. Los factores más importantes que se deben potenciar son la formación polivalente, la descentralización de las responsabilidades y la participación cada vez mayor de los trabajadores.

La eficiencia del sector público también es de gran importancia debido a la gran influencia que tiene en el desarrollo del sistema nacional de innovación. En este sentido, en países como Alemania y Japón se observa un esfuerzo de coordinación

entre departamentos ministeriales y las diferentes administraciones para aprovechar sinergias.

El caso de España

Descripción del sistema de innovación español

El sistema actual de innovación en España se basa fundamentalmente en la Ley de Ciencia de 1986. Esta ley creó un nuevo marco de ciencia y tecnología dirigido a solucionar las principales carencias del sistema, que a la sazón eran:

- Escasez de recursos destinados a I+D.
- Descoordinación de las instituciones públicas.
- Desconexión entre el sistema de ciencia y tecnología y el sistema industrial.
- Necesidad de la definición de las prioridades nacionales.

Además de la creación de diversos órganos para la gestión de la I+D, con la ley se creó el Plan Nacional de I+D como instrumento fundamental de planificación, fomento y coordinación.

El primer avance que generó el Plan fue la definición de las líneas prioritarias de investigación. También se idearon una serie de mecanismos para la coordinación efectiva de todos los elementos del sistema nacional de innovación y para facilitar la acción conjunta y el intercambio. El más importante de éstos es la red Oficinas de Transferencia de Resultados de Investigación, creadas en las Universidades y Organismos Públicos de Investigación con el objetivo de promover entre los sectores productivos la oferta científico-técnica de la institución en que se hallen.

Valoración global del sistema de innovación español

El sistema español de innovación incorpora las principales características de los de los demás países europeos, incluidos los más avanzados. Sin embargo, todavía carece de ciertos elementos que impiden obtener mejores resultados y por lo que cabría introducir varios mecanismos instituidos en otros países.

En primer lugar, es necesario un incremento del gasto en I+D, tanto total como en recursos humanos, pues aún nos encontramos entre los países de menor inversión en este sentido. Para motivar a las empresas a invertir más en I+D se podrían inducir acuerdos con el sistema bancario que complementaran las ayudas públicas, o potenciar medidas de fomento tales como desgravaciones fiscales.

Se deberían definir ayudas especiales para la innovación en las pequeñas empresas que les permitan potenciar su actividad en la realización de proyectos conjuntos, transferencia de tecnología, formación de personal, o en la realización de estudios de mercado.

También sería preciso continuar mejorando la articulación entre los diferentes elementos del sistema español de innovación, especialmente el acercamiento de universidad y empresa. Una acción de gran interés sería la creación de un servicio de diagnóstico sobre las posibilidades de comercialización de los resultados técnicos obtenidos por los centros públicos.

Finalmente, sería conveniente potenciar la información sobre los avances tecnológicos originados en los demás países. Para ello se podría instituir un servicio público de información técnica exterior apoyado en las embajadas.

Con todos estos instrumentos se irían cubriendo carencias que aún muestra nuestro sistema de innovación y, seguramente, se conseguiría aumentar su nivel de eficiencia.

V.-INDICADORES DE CIENCIA Y TECNOLOGÍA

El elevado nivel de recursos que se invierten en I+D, en ciencia y tecnología en general, en los países avanzados (entre el 1.5% y el 3% del PIB) muestra la necesidad de evaluar la eficiencia de la gestión de esos recursos y de los resultados que se obtienen. Para ello, se requiere disponer de unos indicadores que respondan cuestiones sobre el sistema de ciencia y tecnología, con el objetivo de facilitar la toma de decisiones y la valoración de sus resultados.

Definir estos indicadores no es una tarea sencilla. En parte, porque el sistema de ciencia y tecnología está íntimamente ligado a otras áreas de la sociedad, como la economía, la industria, la educación, el medio ambiente. Una segunda causa importante es el carácter acumulativo del desarrollo científico y tecnológico, que provoca que la efectividad actual del sistema de innovación sea resultado de políticas muy anteriores en el tiempo.

Debido a la importancia y a la dificultad del tema, varios organismos internacionales, especialmente la OCDE y la UNESCO, han realizado un esfuerzo importante para avanzar en este proceso. Se han desarrollado varios indicadores, que aún no se encuentran exentos de problemas, así como varios manuales para guiar su aplicación. En la actualidad, los indicadores de ciencia y tecnología se encuentran en un proceso de profunda revisión.

Un aspecto fundamental para optimizar el uso de los indicadores es la calidad de la información que se recoge. Para ello, es de gran importancia la utilización de los manuales elaborados por la OCDE con instrucciones para la toma de datos y la elaboración de los indicadores. Es también esencial que las empresas tomen conciencia de la importancia de proporcionar datos fiables.

En este capítulo se enumeran en primer lugar los principales tipos de indicadores utilizados en la actualidad, así como las tendencias de la investigación en nuevos indicadores. A continuación se describen brevemente los indicadores más importantes.

Tipos de indicadores

Una aproximación operativa a la definición de indicadores se centra en las diferentes etapas del proceso de innovación: a) dedicación inicial de recursos; b) obtención de resultados científicos y tecnológicos; y c) impacto económico y social de dichos resultados.

-Indicadores de recursos:

- Gasto total de I+D
- Recursos humanos destinados a I+D

-Indicadores de resultados científicos y tecnológicos:

- Bibliométricos
- Análisis de patentes

-Indicadores de impacto económico y social:

- Balanza tecnológica de pagos
- Comercio internacional de productos de alta tecnología

En la actualidad se registra un esfuerzo internacional para la definición de indicadores nuevos y más precisos. La corriente principal se centra en el desarrollo de instrumentos que permitan medir las relaciones entre ciencia y tecnología, la difusión del progreso científico en el proceso de consecución de bienes, y la influencia de la I+D en los cambios estructurales y en la competitividad.

Paralelamente, se está procediendo a la utilización del concepto de evaluación, más general que el de indicador, para mejorar la introducción de aspectos cualitativos y globales. En este sentido, se están realizando encuestas de innovación tecnológica con resultados prometedores.

En este capítulo se enumeran en primer lugar los principales tipos de indicadores utilizados en la actualidad, así como las tendencias de la investigación en nuevos indicadores. A continuación se describen brevemente los indicadores más importantes.

Gasto total de I+D

Este indicador mide el gasto total de la nación en actividades de I+D. Tradicionalmente, ha sido utilizado como la medida principal del nivel tecnológico de un país o una industria. Actualmente, sin embargo, se tiene claro que el modo en que se utilicen dichos recursos es más importante que la cantidad total de recursos que se inviertan.

Los problemas más importantes de este indicador son:

- existe poca homogeneidad respecto de lo que se considera I+D;
- refleja escasamente la I+D realizada en pequeñas empresas las cuales, al no tener en muchas ocasiones un departamento formalizado de I+D tampoco contabilizan expresamente sus gastos en este tipo de actividades;
- mide muy deficientemente de I+D realizada en las empresas de servicios; y
- no aporta ningún conocimiento sobre la eficiencia del proceso innovador ni sobre sus resultados.

Recursos humanos destinados a I+D

Este indicador mide el gasto dedicado a recursos humanos dentro del gasto total de I+D. En estos momentos se encuentra en proceso de revisión, dado que no hay datos comparables sobre los recursos humanos en actividades industriales, tecnológicas y científicas.

Indicadores bibliométricos

Los indicadores bibliométricos recuentan y analizan varios aspectos relativos a las publicaciones en revistas, como pueden ser el número de publicaciones, de citas, de cocitas y de connotaciones, entre otros. Permiten conocer profundamente el sistema científico y las relaciones entre sus componentes, de forma que hacen posible una evaluación de la actividad científica muy importante como apoyo para la toma de decisiones.

Los problemas principales de este indicador son:

- los datos iniciales se refieren sobre todo a la investigación básica, que es la que más se refleja en publicaciones;
- los datos iniciales no reflejan con mucho rigor los resultados de la actividad investigadora en la empresas, ya que éstas tienden a no dar difusión a sus descubrimientos; y
- las revistas utilizadas suelen estar escritas en inglés, lo que introduce un sesgo lingüístico.

Análisis de patentes

El análisis de datos sobre patentes es similar a la bibliometría, pero referido al contexto tecnológico. Si las publicaciones en revistas reflejan los descubrimientos científicos o técnicos, las patentes reflejan logros técnicos de aplicación práctica.

Los principales inconvenientes de este indicador son:

- los requisitos para que una invención sea patentada son distintos en países diferentes;
- la propensión a patentar varía también en los distintos países y en los diferentes sectores industriales;
- la calidad de las patentes que se estudian es muy diversa;
- existen pocos datos sobre la utilización de las patentes;
- a menudo, las patentes se realizan para utilizarlas como arma científica frente a competidores;
- no se incluyen los desarrollos informáticos, pues no son patentables;
- no se incluyen los resultados de la investigación en defensa, porque se suelen mantener secretos; y

- no se incluyen aquellos resultados de la actividad industrial que las empresas prefieren mantener en secreto y, por tanto, no patentan.

Balanza tecnológica de pagos (BTP)

La Balanza Tecnológica de Pagos recoge el flujo de fondos entre países debidos a transacciones relativas a derechos de propiedad industrial en aspectos tales como patentes, licencias, saber hacer y asistencia técnica.

Como principales problemas de este indicador se puede señalar que:

- existen falta de homogeneidad en la elección de lo que se incluye en la BTP en diferentes países;
- existen falta de homogeneidad en los métodos de recogida de datos;
- es difícil incorporar aquellas transferencias de tecnología que tienen lugar sin transacciones financieras (licencias cruzadas etc.);
- las multinacionales introducen un efecto de distorsión en las cifras finales (las multinacionales son responsables de alrededor de dos tercios de las transacciones incluidas en la BTP); y
- no siempre se registra correctamente el área geográfica que recibe la tecnología. En la BTP se incluye el país que paga, pero muchos países (especialmente en Latinoamérica, Norte de Africa y Sudeste asiático) realizan los pagos a través de bancos localizados en los Estados Unidos.

Comercio internacional de productos de alta tecnología

Este indicador recoge el valor de las importaciones y exportaciones en productos de diferentes niveles tecnológicos. Para aplicar este indicador, se debe definir un criterio que clasifique los productos en función de su contenido tecnológico. Esta clasificación se realiza normalmente atendiendo a la relación entre los gastos de I+D y el valor añadido de los productos. Su utilización, sin embargo, presenta ciertos problemas, como son:

- la intensidad investigadora y la intensidad tecnológica no son necesariamente conceptos equivalentes;
- la elección de los valores umbrales entre niveles tecnológicos es arbitraria;
- la intensidad tecnológica puede variar mucho dentro de un mismo tipo de productos; y
- no se tienen en cuenta las tecnologías incorporadas indirectamente a través de maquinaria y materiales.

Encuestas de innovación tecnológica

Este método se está desarrollando actualmente para mejorar algunos de los problemas de los indicadores tradicionales. Está enfocado fundamentalmente a los dos objetivos siguientes:

- Concentrar la atención en el proceso innovador, midiendo la relación entre las ideas innovadoras, la ciencia y la tecnología, y la consecución de bienes y servicios. Hasta ahora, los indicadores más habituales se han centrado demasiado en la medida de los resultados científicos y técnicos obtenidos.
- Mejorar la forma en que se consideran los aspectos cualitativos. Hasta ahora estos aspectos no habían sido tratados suficientemente debido a un enfoque demasiado centrado en aspectos cuantitativos.

Por lo tanto, la nueva tendencia consiste en medir el proceso de innovación tecnológica mediante evaluaciones y encuestas, y se dirige al análisis de las innovaciones que surgen en la sociedad y al modo en que se han producido. En este sentido, se están desarrollando iniciativas para recoger datos estadísticos respecto a dos aspectos: las propias innovaciones "per se", y las empresas generadoras de innovaciones.

La OCDE ha realizado el Manual de Oslo (1992), donde se proponen una serie de orientaciones para la recogida y la interpretación de datos sobre innovación tecnológica. En España, el Instituto Nacional de Estadística está desarrollando una Encuesta sobre Innovación Tecnológica en las Empresas basada en dicho manual, que incorpora las últimas ideas sobre definición de indicadores.

VI.- RESUMEN DE HISTORIA DE LA INNOVACION TECNOLOGICA

En el mundo occidental, la innovación tecnológica está relacionada muy estrechamente con grandes cambios sociales habiendo sido su causa. Esta revisión histórica pretende ofrecer una serie de claves para comprender el peso de la innovación y sus relaciones con la economía por una parte, y con la ciencia, por otra.

La primera innovación que parece suficientemente documentada en cuanto a sus efectos sociales debió ser la de la rueda hidráulica, que se difundió en la alta Edad Media, a la que siguió la del molino de viento, seguramente utilizado ya eficazmente en el siglo XII. Estos hechos podrían explicar la riqueza de los siglos XII y XIII, que permitió el desarrollo de las ciudades y las notables operaciones que caracterizan esta época: las Cruzadas, la construcción de Catedrales y la fundación de las Universidades. Los artesanos y los estudiantes se alimentaban y vivían gracias a los excedentes que las innovaciones habían generado al ser introducidas en los sistemas tradicionales de producción.

La evolución comercial del siglo XII difícilmente puede explicarse sin el timón de codaste que usaban los barcos de la Liga Hanseática. La innovación liberó más recursos humanos, que fueron dedicados a la producción que demandaba el comercio internacional.

Tampoco es ajena la innovación a la aparición de las monarquías absolutas, ya que el poder militar se concentró en las manos de aquellos príncipes que tenían el control de la fabricación de la pólvora y de la fundición de los cañones. De esta manera las falanges de picas suizas no representaron ya la respuesta efectiva a los caballeros montados, como había ocurrido hasta el siglo XVI.

Un rasgo notable de aquella época, y que afecta particularmente a nuestro país, es la aplicación de resultados científicos a materias prácticas, ausente seguramente desde la antigüedad. Los conocimientos en Astronomía y Geometría, junto con la pericia artesanal en la construcción de instrumentos de navegación, fueron importantes para los grandes descubrimientos geográficos entonces realizados y en los que España tuvo un papel descollante. Sin embargo, ha extrañado siempre a los historiadores que ni los españoles ni los portugueses tuvieran una participación significativa en la solución de los problemas de la navegación, que vivían tan directamente, mediante el desarrollo de la ciencia o por lo menos aplicándola. No parece que la Casa de Contratación de Sevilla haya influido tanto en esta actividad tecnológica primitiva como sin duda lo hizo en la homologación de pilotos e instrumentos que debían cruzar el océano.

Antes de llegar a la denominada Revolución Industrial, de indudables raíces en la innovación tecnológica, pueden citarse otros muchos ejemplos, pero sin duda el más trascendente desde el punto de vista social fue el de la imprenta, que adquirió eficacia cuando Gutenberg perfeccionó, entre 1436 y 1450, los antiguos métodos de tipos metálicos móviles.

La imprenta hizo posible la rápida difusión del conocimiento y aceleró lo que se ha denominado la Revolución Científica del siglo XVII. Los trabajos de Francis Bacon (1561-1626), Galileo (1564-1642), Descartes (1569-1650) y Newton (1642-1727) establecieron las bases del moderno quehacer científico.

España no participó en ninguna de estas primeras manifestaciones maduras de la ciencia moderna. Durante el primer tercio del siglo XVII, la ciencia española continuó con los planteamientos renacentistas, en los que años atrás había brillado. Las décadas centrales del siglo XVII vieron entrar en el país algunos elementos modernos, pero fueron rechazados, o interpretados como meras rectificaciones de los conocimientos tradicionales. Los últimos veinte años de la centuria fueron testigos, sin embargo, de que algunos autores españoles habían roto con los esquemas clásicos.

La situación de decadencia de las instituciones científicas españolas hizo que estos renovadores científicos, que fueron denominados novatores, tuvieran que recurrir a mecenas y a "tertulias" donde contrastar sus ideas. Por aquellas fechas, varias tertulias clásicas de capitales españolas incluyeron temas científicos entre los artísticos y literarios que las caracterizaban.

Algunas de estas tertulias tuvieron cierta vida y fueron los precursores de centros ilustrados del siglo siguiente. La "Regia Sociedad de Medicina y otras Ciencias" nació en el año 1700 de la tertulia sevillana del médico Juan Muñoz y Peralta, creándose también en esta ciudad el Colegio San Telmo, que renovó la enseñanza de la náutica. Muchas otras tertulias vieron naufragar intentos de consolidación ante la oposición de los tradicionalistas. De esta manera, no fue posible la aparición en España de algún equivalente a las Reales Sociedades Científicas que por aquellas fechas nacieron en Inglaterra y Francia.

Sólo hacia la mitad del siglo XIX fueron realmente útiles a la técnica los enormes avances de la ciencia. Los grandes logros técnicos del siglo XVIII, como las máquinas de vapor de Savery (1698), Newcomen (1712) o de Watt (1763), y los relojes marinos de Harrison (1765) o de Le Roy (1763) debieron poco a los principios científicos descubiertos un siglo antes. Más bien, la situación fue la contraria, el trabajo ordenado del artesano demostró la importancia del método experimental al hombre científico y la necesidad de la constatación práctica de sus teorías. Sin embargo, es claro también que aquellos artesanos que adaptaron el método científico de la prueba y el error para modificar las prácticas heredadas de sus maestros, fueron los que realmente sentaron las bases de la Revolución Industrial.

A partir de 1850 la ciencia ha sido la principal causa del progreso de la técnica, y la tecnología ha sido el verdadero apoyo de la innovación. Para entonces, se habían resuelto ya muchos problemas de ingeniería mecánica que hacían posible una cierta producción en masa, necesidad sentida inicialmente en la esfera militar. El torno de Maudsley (1810), la "máquina de aplanar" de Clement (1825) y los calibres de rosca de Whitworth (1830) fueron inventos que contribuyeron de forma importante a la Revolución Industrial.

Si el siglo XVII fue el del desarrollo de la mecánica, el siglo XVIII vio cómo se iban desvelando las causas y características de la electricidad. La botella de Leiden (1745) y la demostración de la naturaleza eléctrica del rayo por Franklin (1752) fueron los primeros resultados, que fueron continuados por muchos otros como los de Coulomb (1789) sobre la ley de la variación inversa del cuadrado de la distancia para las fuerzas de atracción y repulsión eléctrica y magnéticas, o la pila de Volta (1799). Durante el siglo XIX, Faraday (1791-1867), Maxwell (1831-79), Kirchoff (1824-87) y Hertz (1857-94), entre otros, completaron las bases que permitían explicar y hacer útiles los fenómenos eléctricos y magnéticos.

Para que la Revolución Industrial tuviese pleno efecto era necesario un conocimiento de la termodinámica. El calor, que había preocupado a Bacon, Boyle, Hooke e incluso a Newton durante el siglo XVII, se había intentado explicar en el siglo XVIII mediante la teoría del "calórico", definido como "una substancia material sin peso" que se hallaba mezclada en los cuerpos. Esta explicación estuvo vigente hasta la mitad del siglo XIX, momento en que los trabajos de Carnot (1796-1832), Clapeyron (1799-1864), Mayor (1814-78), Joule (1818-90) y N. Thompson (Lord Kelvin) (1824-1902), habían convencido de que la energía mecánica y térmica eran reversibles.

Los ahora denominados Principios de la Termodinámica fueron plenamente aceptados hacia el último tercio del siglo XIX, y sus consecuencias se aplicaron a la construcción de máquinas. La turbina fue la máquina que mejor se aprovechó de estas teorías, ya que si bien su principio era conocido ya en la antigüedad (parece que Herón de Alejandría había construido un juguete basado en ella), sus mejoras no fueron posibles sin la formulación teórica.

La unión de la turbina con los generadores eléctricos hizo populares las aplicaciones de la electricidad, que fueron desde la iluminación eléctrica que en 1882, y gracias a Edison, se utilizó en Nueva York, hasta la tracción eléctrica que permitió que España tuviera, en 1901, 78 km. de tracción eléctrica en explotación.

La industria química y la agricultura fueron innovando sin contar con la ciencia hasta finales del siglo XVIII. Uno de los primeros intentos de recurrir a la ciencia puede que fuera el premio ofrecido en 1775 por la Academia de Ciencias de París por un procedimiento de obtención de sosa a partir de la sal común, que entonces era usada por la industria para blanquear tejidos.

El siglo XIX fue el de desarrollo de las aplicaciones industriales y agrícolas de la química, así como el de las primeras aportaciones científicas de la microbiología, con los trabajos de Louis Pasteur (1822-95), que trataron desde las levaduras para la cerveza y el vino hasta las enfermedades de los gusanos de seda, del ganado y del hombre. Durante todo el siglo se aplicaron innovaciones, naciendo la química agrícola y la química fina, y se aplicaron los principios de la química física a la química pesada. A modo de ejemplo pueden citarse los trabajos de Clement y Derosmes (1806), y de

Glaser (1860) para perfeccionar los viejos métodos de fabricación de ácido sulfúrico, los de los hermanos Solvay (1865) para la sosa, los de Boyer (1860) sobre tintes artificiales, y los de Nobel (1883) y los de Swan (1883) sobre fibras artificiales.

La ya citada ausencia de participación española en la Revolución científica no impidió que durante el siglo XVIII hubiera una conciencia en el país de su retraso científico y tecnológico. El primero que denuncia esta situación es Feijóo, quien en sus *Cartas Eruditas* (XVI y XXXIV) (1745) dedica atención a lo que él considera las causas del atraso español. La famosa "polémica de la ciencia española" no se considera sin embargo iniciada hasta 1782, cuando aparece el artículo, de la "Enciclopedia Metódica" titulado España firmado por Masson de Movilliers.

Lo sorprendente de esta polémica es su trasfondo ideológico. Se debatía la necesidad de la ciencia y la técnica para el bienestar social. Para unos, la moderna ciencia era creadora de un clima de incredulidad y desorden social, mientras que para otros era algo imprescindible para el desarrollo económico y social de España. Esta polémica ha reverdecido hasta fechas recientes, demostrando siempre que, salvo raras y notables excepciones, los polemistas no han tenido conocimiento directo del método científico ni del proceso inductor del cambio tecnológico.

No obstante, España vivió durante el reinado de Carlos III (1759-1788) un renacer de su ciencia, que se vio apoyada por nuestros ilustrados, siguiendo el movimiento intelectual de la Europa del momento. Las defensas (1789) de Jovellanos y de Pedro Rodríguez de Campomanes son claras muestras. De esta época son los trabajos de Cavanilles (botánico), de los hermanos Elhuyar y de del Río (químicos), de Lanz y Bethancourt (ingenieros); y de Gimbernat y Luziaga (médicos), por citar unos cuantos ejemplos.

Sin embargo, los primeros treinta años del siglo XIX fueron catastróficos para la ciencia y la tecnología españolas. España salió de las guerras napoleónicas arruinada, sin imperio colonial y con unas estructuras socio-políticas sumidas en una crisis profunda y duradera. A la muerte de Fernando VII, se hace notar una cierta recuperación, pero son sólo algunas individualidades las que logran ponerse en contacto con Europa, aunque en medio de la más completa indiferencia en su propio entorno social. De entonces es la reforma universitaria (Ley Moyano 1857) que configurará la Universidad española, y también la creación de la "Institución Libre de Enseñanza".

De esta época es también la primera etapa de la industrialización española, que se hace con capital y tecnología extranjeros. La máquina de vapor se instala en 1833 en la fábrica textil de Bonaplata, y la Ley General de Ferrocarriles es de 1855. Sin embargo, estas importantes inversiones no estimulan en ningún momento una tecnología española, ni siquiera la producción de máquinas en el país.

El siglo XX ha sido sin duda uno de los de mayor avance tecnológico, tanto en las ingenierías tradicionales como en las aplicaciones médicas y biológicas. Los primeros decenios vieron consolidarse modelos teóricos que permitían comprender tanto

fenómenos conocidos como otros que la actividad experimental, ampliamente renovada, ponía de manifiesto. La genética, la relatividad y la teoría cuántica son productos de este siglo, como también lo son muchos materiales, los antibióticos, las aplicaciones enormemente extendidas de la radiación electromagnética, la energía nuclear, los satélites artificiales, el ordenador y la ingeniería genética.

La enorme y rápida evolución del conocimiento científico y del potencial tecnológico ocurridas en este siglo son motivo de constantes trabajos tanto especializados como de divulgación. Para el objetivo de estas páginas es especialmente importante hacer notar que sólo recientemente se ha tenido preocupación por las consecuencias económicas del cambio tecnológico, y esto seguramente porque hasta fechas muy recientes este cambio era suficientemente lento como para que las teorías económicas consideraran la tecnología como un factor exógeno al que los sistemas económicos, de alguna u otra forma, debían adaptarse.

Como ha quedado patente, la sustitución de productos y procesos de la forma acelerada que ahora conocemos data de hace pocos años. La vida de un producto o de un proceso ha entrado en una fase de reducción inimaginable por tecnólogos y economistas. Seguramente, nunca hasta estos días las empresas han sabido sacar provecho de la "curva de aprendizaje", que se ha convertido en uno de sus más claros factores de competitividad, al permitirles idear, sobre la base de lo aprendido, nuevos procesos y productos de costes continuamente decrecientes.

VII.- SUGERENCIAS PARA FUTURAS LECTURAS

Conceptos generales e innovación tecnológica en general

Acs Z.J. y Audretsch D.B.: Innovation and Small Firms. The MIT Press, Cambridge, Massachusetts, 1990.

Allen T.J.: Managing the Flow of Technology. The MIT Press, Cambridge, Massachusetts, 1988.

Foster R.: Innovation, the Attackers Advantage. Summit Books, Nueva York, 1986.

Freeman C.: The Economics of Industrial Innovation. The MIT Press, Cambridge, Massachusetts, 1982.

Freeman C. Perez, C.: The Diffusion of Technical Innovations and Changes in Techno-economic Paradigm. Conference on Innovation Diffusion, Venecia, 1986.

Gaynor G.H.: Achieving the Competitive Edge through Integrated Technology Management. McGraw Hill, 1991.

Kodama F.: Analyzing Japanese High Technologies. Pinter Publishers, Londres, 1991.

Kuhn T.S.: The Structure of Scientific Revolutions. The University of Chicago Press, Chicago, 1970.

Tushman M.L., Moore W.L. (eds.): Readings in the Management of Innovation. Ballinger Publishing Company,

Efectos económicos de la innovación tecnológica

Baldwin W.L., Scott J.T.: Market Structure and Technological Change. Harwood Academic Publishers, Londres, 1987.

Cyert R.M., Mowery D.C. (eds.): Technology and Growth. National Academy Press, Washington D.C., 1987.

Rosenberg, N.: Technology and American Economic Growth. M.E. Sharpe, Armonk, Nueva York, 1972

Scherer F.M.: Innovation and Growth. The MIT Press, Cambridge, Massachusetts, 1984.

Schumpeter J.: Business Cycles. A Theoretical and Statistical Analysis of the Capitalist Process. McGraw Hill, Nueva York, 1939.

Schumpeter J.: Theory of Economic Development. Harvard University Press, Cambridge, Massachusetts, 1934.

Políticas de Ciencia y Tecnología

Derian J.C.: America's Struggle for Leadership in Technology. The MIT Press, Cambridge, Massachusetts, 1990.

Ergas, H.: "Does Technology Policy Matter?", en Economic Policy and Technological Performance, P. Dasgupta y P. Stoneman (eds.). Cambridge University Press, Cambridge, 1987.

Ergas, H.: "Global Technology and National Politics", estudio realizado para el US Council on Foreign Relations, 1989.

Golden W.T.: Worldwide Science and Technology Advice to the Highest Levels of Government. Pergamon Press, Elmsford, Nueva York, 1991.

Stoneman, P.: The Economic Analysis of Technology Policy. Oxford University Press, Oxford, 1987.

Stoneman P. y Vickers J.: "The economics of Technology Policy", Oxford Review of Economic Policy, vol. 4, num. 4, 1988.

Woot P.: High Technology Europe. Basil Blackwell, Oxford, 1990.

Indicadores de ciencia y tecnología

Archibugi D.: "In Search of a Useful **Measure of** Technological Innovation", Technological Forecasting and Social Change, vol. 34, 1988.

Brooks H.: "Science Indicators and Science Priorities", Science Technology and Human Values, vol. 7, no. 38, 1982.

Griliches Z.: 'Patent Statistics as Economic Indicators: A Survey', Journal of Economic Literature, Vol. 28, 1990.

Rappa M.A. and Debackere K.: "Monitoring Progress in R&D Communities". Working Paper, Sloan School of Management, MIT, Cambridge, Massachusetts, 1990.

Instituto Nacional de Estadística, Proyecto de Encuesta sobre Innovación Tecnológica en las Empresas, 1992.

Historia de la tecnología

García Camarero E.: La polémica de la Ciencia Española. Alianza Editorial, Madrid, 1970.

Mason Stephen T.: "Historia de las Ciencias" (5 tomos). Alianza Editorial (LB), Madrid (1984-1986).

Mathias P., Davies J.A. (Editores): Innovation and Technology in Europe. From the Eighteenth Century to the Present Day. Oxford: Blackwell, 1991.

Tortella G., González Blasco P.: "La ciencia y la tecnología en España: pasado y presente". Ciencia y desarrollo, año VII, n° 40, Septiembre-October 1981.