

LAS RELACIONES CIENCIA-TECNOLOGÍA EN ESPAÑA.

EVIDENCIAS A PARTIR DE LAS CITAS CIENTÍFICAS EN PATENTES.

MANUEL ACOSTA SERÓ
DANIEL CORONADO GUERRERO (*)

Departamento de Economía General
Universidad de Cádiz

UNA DE LAS PRINCIPALES RAZONES POR LAS QUE LOS ECONOMISTAS HAN DEDICADO NOTABLES ESFUERZOS AL ESTUDIO DE LA CIENCIA Y DE LA POLÍTICA CIENTÍFICA ES SU INCIDENCIA EN EL CRECIMIENTO ECONÓMICO, O MÁS ESPECÍ-

ficamente, en el desarrollo tecnológico como paso intermedio entre ciencia y crecimiento. Desde un punto de vista macroeconómico, algunos trabajos han contrastado la relevante contribución del *stock* de conocimiento publicado al incremento de la productividad (Adams, 1990); otros han tratado de cuantificar los impactos de los fondos destinados a la universidad sobre la producción bruta nacional (Bergman, 1990; Martín, 1998).

Las nuevas teorías de crecimiento endógeno sugieren que las externalidades del conocimiento (tecnológico y científico)

son una de las principales fuentes de crecimiento a largo plazo (Lucas, 1988; Romer, 1990, 1994). La investigación microeconómica también ha realizado sugerentes aportaciones que, con metodologías diferentes, han examinado las relaciones entre conocimiento científico y el desarrollo y difusión de innovaciones. En esta línea, los trabajos de Mansfield (1991, 1998), Mansfield y Lee (1996) y Beise y Stahl (1999) estiman, para un conjunto de empresas, el porcentaje de nuevos productos y procesos basados en la investigación académica reciente; los estudios de Jaffe *et al.*

(1993, 1996, 1998) han utilizado datos de patentes y citas de estas patentes para cuantificar los efectos desbordamiento de la investigación académica; mediante procedimientos bibliométricos Narin *et al.* (1997), Meyer (2000a), Tijssen (2001) y Verbeek *et al.* (2002), entre otros, han identificado los antecedentes científicos de la innovación con el objeto de explicar los flujos ciencia-tecnología; por último, Meyer-Krahmer y Schmoch (1998) y Scharfetter (2002) acometen sendos análisis donde consideran distintas formas de transmisión de conocimiento entre universidad y empresa.

En general, con todos estos trabajos se ha avanzado en dos frentes; por un lado, se han sugerido nuevos procedimientos metodológicos para indagar en la naturaleza de las complejas relaciones ciencia-tecnología, por otro, se ha constatado, en diferentes contextos espaciales y temporales, la creciente relevancia de la investigación científica para la industria.

Desde un punto de vista más pragmático —en términos de política económica—, el trasfondo de este debate es la relación entre los ingentes recursos públicos destinados a la investigación básica y su rendimiento para mejorar la competitividad de las empresas, el crecimiento, el empleo y, en definitiva, el bienestar de los ciudadanos. En este contexto, conocer la forma en que la producción científica se traslada al desarrollo tecnológico, y cómo ésta a su vez influye en el ámbito científico, es fundamental para establecer políticas eficaces que conecten el ámbito científico con el sistema productivo. La intención en este artículo es profundizar en la relación entre ciencia y tecnología, tratando de responder a cuestiones como las siguientes: ¿en qué tipo de conocimiento —científico o tecnológico— se sustenta fundamentalmente la industria? ¿qué sectores son los más dinámicos en el empleo del conocimiento científico? ¿qué campos científicos son los que más se relacionan con la industria? ¿existen diferencias sectoriales y regionales significativas en la relación ciencia-tecnología?

El objetivo último es proporcionar datos objetivos que puedan ser utilizados como un punto de referencia más para reflexionar sobre la incidencia de determinadas actuaciones de política científica sobre el sistema productivo.

La metodología aplicada para investigar los vínculos entre ciencia y tecnología, a la que se han incorporado algunas novedades, se basa en las citas científicas de los documentos de patentes (NPC). Aprovechando esta metodología se ha procurado avanzar en la construcción de indicadores de flujos ciencia-tecnología a partir de las citas científicas; con ello se pretende determinar, para cada industria, la intensidad y diversidad en el uso del conocimiento científico. Junto a estos indicadores se pro-

pone un modelo de respuesta binaria de carácter microeconómico, que permite identificar algunas de las causas que determinan las relaciones ciencia-tecnología. Desde un punto de vista aplicado, se ha incorporado un análisis regional, faceta hasta ahora ausente en las referencias indicadas con anterioridad, que estaban centradas en análisis nacionales.

El esquema seguido se inicia con un breve marco teórico donde se exponen las más recientes referencias que interrelacionan la investigación científica con el cambio técnico y la economía; a continuación se desarrolla la metodología seguida en el trabajo, los datos utilizados y los resultados obtenidos. El artículo finaliza con unas conclusiones que pueden ser interpretadas como un punto de referencia más para el desarrollo y diseño de políticas eficaces que sean capaces de conectar la investigación científica con el sistema productivo.

● ● ● ● ● ● ● ● ● ● LAS RELACIONES CIENCIA-TECNOLOGÍA

La idea de que la investigación científica básica genera un impulso de la tecnología y, en consecuencia, tiene repercusiones directas sobre el crecimiento, se corresponde originariamente con una hipótesis de linealidad en el proceso de innovación surgido a partir del éxito visible de la ciencia en el impulso de determinadas actividades de alta tecnología en EEUU después de la Segunda Guerra Mundial (Malecki, 1997, p. 52). Este modelo lineal sugiere que se produce una secuencia unidireccional desde la investigación básica y aplicada en universidades e institutos de investigación hacia el desarrollo de nuevos procesos y productos, su producción y, finalmente, su comercialización.

Se suelen aducir dos problemas en relación con este modelo (Malecki, 1997): el primero es el énfasis exagerado en la investigación científica básica como fuente de nuevas tecnologías; el segundo es la idea, derivada de un punto de vista exclusivamente tecnocrático, del proceso de innovación como camino para la produc-

ción de un nuevo instrumento técnico. El trasfondo teórico de este modelo descansa en los postulados neoclásicos (libre disponibilidad del conocimiento científico), donde la justificación para la intervención pública se basa en la corrección de los fallos del mercado. La versión simplista del proceso de creación de tecnología ha dado paso a un sistema en el que las interrelaciones ciencia-tecnología son bastante más complejas que las que postula el modelo lineal y la interpretación del proceso de innovación es menos tecnocrática. El empuje tecnológico que asume el modelo lineal es insuficiente para explicar la transferencia mutua de conocimiento entre ciencia y tecnología.

La aparición —voluntaria a veces, involuntaria otras— de numerosas instituciones (asociaciones de empresas, universidades, institutos de investigación, instituciones de interfaz para integrar la ciencia-tecnología) a través de un sistema organizado ha reemplazado el modelo lineal. Las modernas teorías de la innovación, sustentadas en los planteamientos evolucionistas sugeridos en la obra pionera de Nelson y Winter (1982) (1), conllevan un punto de vista más sociológico de la innovación, en el que el conocimiento como recurso y el aprendizaje interactivo son aspectos fundamentales del proceso (Lundvall y Borras, 1997; Lundvall y Johnson, 1994).

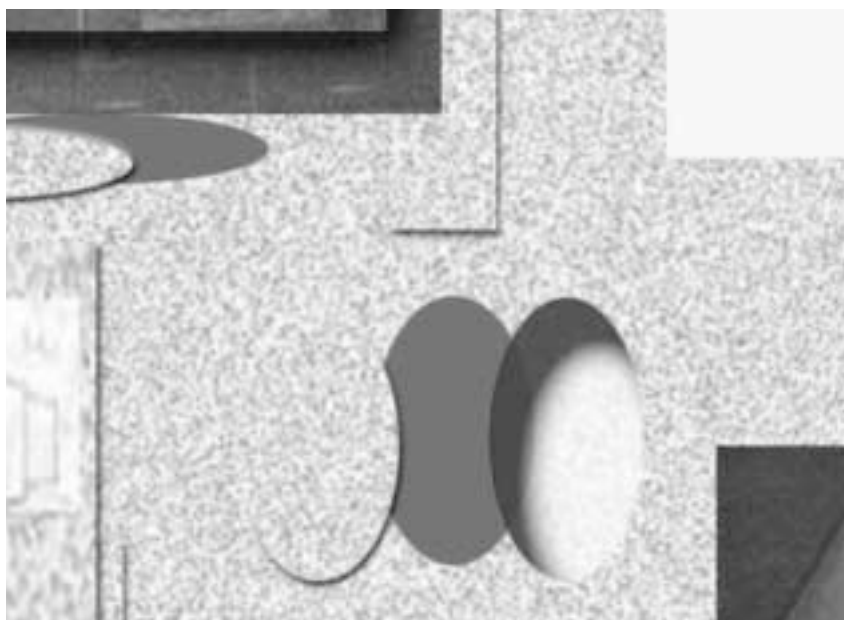
La característica común de las nuevas teorías de la innovación y del cambio técnico es la percepción de la innovación como un proceso complejo que envuelve elementos de incertidumbre y de acumulación (Dosi *et al.*, 1988, p. 222). Han aparecido nuevas formas organizativas entre esferas institucionales —universidad, industria y gobierno— que son indicativas de la importancia del conocimiento y del flujo de aprendizaje para el crecimiento económico y la transformación social: sistema nacional/regional de innovación (Nelson, 1993; Lundvall, 1992; Braczyk *et al.*, 1998), sistemas de investigación en transición (Cozzens *et al.*, 1990; Ziman, 1994); triple hélice (Etzkowitz y Leydesdorff, 1997; 2000; Leydesdorff, 2000), etc.

En este contexto, la relación ciencia-tecnología no muestra una linealidad unidireccional; por el contrario, los flujos son

biunívocos y la interacción continua. En este nuevo marco, la justificación clásica de la investigación científica (contribución a la cultura) todavía permanece, y lo hace junto con objetivos militares, de salud pública o medioambientales; sin embargo, la legitimación actual y futura de la investigación —que acapara cada vez más recursos— es su incesante fuente de nuevas ideas para el progreso técnico y el desarrollo económico (Etzkowitz y Leydersdorff, 2000). Desde el punto de vista de las políticas encaminadas al fomento y estímulo de la innovación, parece necesario que las iniciativas públicas contemplen actuaciones en todas las esferas del proceso innovador en las que intervienen, incluida la investigación científica (2).

Pero en este nuevo marco, ¿qué se conoce sobre la interconexión entre ciencia y tecnología? En un plano teórico, la ciencia básica contribuye al progreso técnico a través de factores directos (generación de conocimiento útil) e indirectos (proporciona capacidades para resolver problemas, formar redes, etc). Más específicamente, una variedad de estudios empíricos ha trazado los principales canales y mecanismos de transmisión entre ciencia y tecnología (3): a través del incremento del *stock* de conocimiento útil; desarrollo de nuevas metodologías y técnicas; creación de instrumentación científica; formación de científicos e ingenieros; formación de redes y estimulación de la interacción social o transferencia de tecnología directa a las empresas basada en el conocimiento acumulado en las universidades. La idea generalmente aceptada es que la principal aportación de la ciencia se produce a través de la formación de recursos humanos; científicos capaces de generar ciencia, intercambiar conocimiento y resolver problemas tecnológicos.

De todas estas relaciones, discutidas desde un punto de vista teórico, se han podido constatar en la práctica algunas regularidades. La evidencia empírica ha puesto de relieve que existen sustanciales diferencias sectoriales acordes con los distintos patrones de innovación o propensiones a patentar de cada sector (Bell y Pavitt, 1993). Los trabajos de varios autores que han utilizado como indicador las citas científicas de los documentos de



patentes para reflejar las relaciones ciencia-tecnología han demostrado que estas relaciones son bastante específicas entre campos científicos y sectores relacionados; es decir, se confirma la proximidad entre la industria química y la investigación científica química, entre la industria electrónica y la física, etc. (Klevorick *et al.*, 1995; Godin, 1996; Hicks y Katz, 1997; Narin *et al.*, 1997).

Otro resultado destacable —y hasta cierto punto sorprendente—, puesto de relieve en el reciente trabajo de Schartinger *et al.* (2002), es que las interacciones no están restringidas a pocos campos científicos o pocos sectores tecnológicos; es más, los niveles de I+D de una industria no indican el grado de interacción que también se puede establecer entre sectores tradicionales. Finalmente, aunque se ha detectado la presencia de externalidades positivas locales de la investigación científica para el desarrollo de innovaciones (Varga, 1998; Anselin *et al.*, 2000), esta afirmación no es universal, está restringida a determinados sectores y áreas geográficas.

METODOLOGÍA

Como se describe en el epígrafe anterior, la relación de la investigación científica con el desarrollo tecnológico se canaliza a través de formas diversas y presenta

marcadas diferencias sectoriales. Determinar la interconexión ciencia-tecnología presenta dos dificultades metodológicas fundamentales: primero, obtener o aproximar indicadores realistas que representen el resultado de la interrelación del potencial científico con la tecnología y su evolución y, segundo, aislar sus efectos de las influencias de otras variables que también son determinantes de la competitividad, el crecimiento o el empleo.

Una forma de avanzar en la investigación de estos aspectos consiste en explorar la información contenida en los documentos de patentes, es decir, aproximar las relaciones ciencia-tecnología de forma cuantitativa a través del número medio de citas científicas en las patentes de un determinado campo tecnológico. En este apartado se intenta, primero, clarificar algunos aspectos en relación con la metodología; segundo, sugerir algunos indicadores para la medición de los flujos ciencia-tecnología, y tercero, proponer un modelo para identificar las posibles causas que determinan las variaciones de las relaciones ciencia-tecnología.

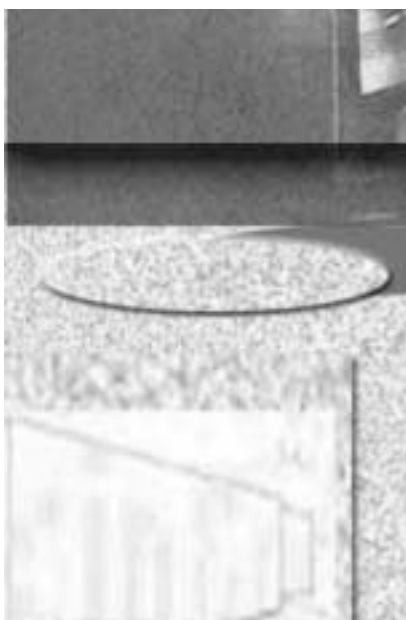
FUNDAMENTOS

La metodología NPC (*non patent citation*) tiene su origen en los trabajos pioneros de Carpenter *et al.* (1980), Carpen-

ter y Narin (1983) y Narin y Noma (1985). En la década de los noventa, estudios como los de Van Vianen *et al.*, (1990), Grupp y Schmoch (1992), Narin y Olivastro (1992, 1998), Noyons *et al.* (1994), Narin *et al.* (1995, 1997) y Meyer-Krahmer y Schmoch (1998), entre otros, han demostrado que el nivel medio de referencias científicas recogidas en las patentes es un indicador apropiado para describir las relaciones ciencia-tecnología. Recientemente se han desarrollado varios análisis con diversos niveles de agregación que están permitiendo avanzar en la interpretación del papel que desempeñan las citas científicas en los documentos de patentes para cuantificar las relaciones ciencia-tecnología (Meyer, 2000a, 2000b, 2000c, 2002; McMillan *et al.*, 2000; Tijssen *et al.*, 2000; Tijssen, 2001, 2002; Verbeek *et al.*, 2002) se describen a continuación los fundamentos del procedimiento.

En los documentos de patentes, como ocurre en los artículos científicos, es habitual proporcionar referencias o citas cuyo objetivo es describir los antecedentes o estado de la técnica previo a la invención. Estos antecedentes —o estado de la técnica— incluyen, además de otras patentes que han sido utilizadas como soporte de la invención, referencias bibliográficas científicas y publicaciones técnicas. Estas citas proporcionan algunas indicaciones de la contribución potencial de la investigación publicada a las invenciones patentadas. Las referencias recogidas en una patente, debido al control que se ejerce sobre ellas y a sus consecuencias legales, tienen menos probabilidades de ser redundantes o superfluas que las incorporadas a un artículo científico (Collins y Wyatt, 1988; Verbeek *et al.*, 2002) (4).

Las aplicaciones empíricas sobre NPCs, por su parte, revelan que, por término medio, son pocas las patentes donde se cita literatura científica y, además, suelen existir sesgos en favor de algunos sectores tecnológicos y países. Por ejemplo, el reciente estudio de Iversen (1999) muestra que, durante el período 1990-96, aproximadamente el 30% de las patentes de residentes en Noruega concedidas en los EEUU citan revistas, libros y una variedad de literatura más comercial (computa 716 NPCs —de las cuales 393 son



referencias científicas— en 183 patentes). Las dos industrias más relacionadas con la literatura científica son farmacia e instrumentos; ambas recogen el 60% de las citas totales.

El trabajo de Grupp y Schmoch (1992) y Meyer-Krahmer y Schmoch (1998), a partir de unos índices aplicados a las patentes de la Oficina Europea de Patentes durante el período 1989-92, muestra que las relaciones más altas con la ciencia se encuentran en el campo de la biotecnología, junto con otras áreas relacionadas con la química y las tecnologías de la información. Las áreas por debajo de la media en citas están relacionadas generalmente con la ingeniería mecánica y la ingeniería civil. Si nos remontamos más atrás, el artículo de Narin y Olivastro (1992) ya puso de relieve que las relaciones con la ciencia se producen con más intensidad en los sectores de farmacia, química y electrónica, y observaron diferencias significativas entre estados con fuerte intensidad tecnológica. Los análisis realizados en varios trabajos (Grupp y Schmoch, 1992; Schmoch, 1993; Narin y Olivastro, 1998; Meyer, 2000a 2000b) ayudan a comprender por qué se producen diferencias sectoriales o nacionales, e incluso entre solicitantes.

Estos estudios identifican un número de causas por las que examinadores, solicitantes o inventores incorporan NPCs a

las patentes o lo hacen con diferente intensidad, y no todas tienen que ver con posibles interrelaciones con la ciencia; entre ellas se puede mencionar la limitada disponibilidad de patentes en determinados campos tecnológicos como consecuencia del rápido avance de ciertas tecnologías y el consecuente retraso en la publicación de los documentos de patentes, el contexto legal que envuelve la protección por medio de patentes (obligatoriedad y responsabilidad de recoger el prior art, utilidad, novedad, etc.), la naturaleza social del proceso (varios actores —inventor, examinador, agente, etc.— están envueltos en el desarrollo de la patente y ejercen influencia sobre su forma final) o las diferentes prácticas nacionales (la presencia de diferentes oficinas de patentes con distintos métodos de trabajo) (5).

Por tanto, las citas científicas no aparecen en las patentes de todos los sectores, lo que no necesariamente implica que aquellos cuyas patentes no recogen citas científicas no presenten relación alguna con la ciencia, puesto que estas relaciones se pueden manifestar tácitamente (movilidad de científicos e ingenieros o cooperación universidad-empresa, por ejemplo). En consecuencia, el análisis de citas de patentes ofrece una perspectiva útil pero parcial de los flujos ciencia-tecnología, porque lo que realmente se está midiendo es la relación entre literatura científica publicada y las invenciones patentadas; conocimiento codificado en cualquier caso que deja fuera otras formas tácitas de interconexión.

Ésta es una de sus principales limitaciones; adicionalmente se han apuntado algunos obstáculos de carácter operativo en esta metodología: bases de datos incompletas, dificultad para procesar la información (Verbeek *et al.*, 2002; Meyer, 2000a) o para identificar las publicaciones citadas como representación de investigación básica o aplicada (Meyer-Krahmer y Schmoch, 1998).

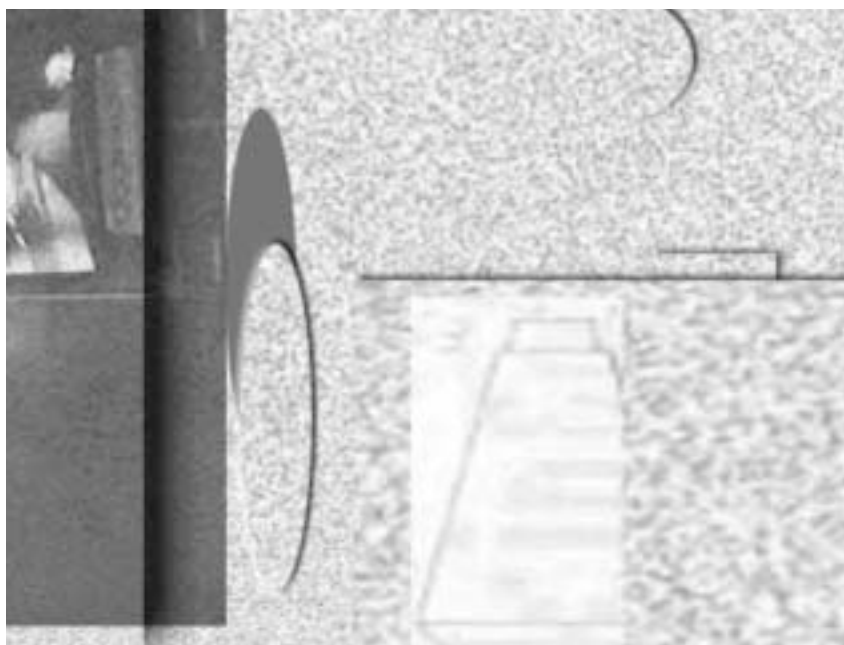
La cuestión clave, tras esta síntesis, es ¿hasta qué punto la metodología NPC es capaz de captar y cuantificar las relaciones ciencia-tecnología? En principio, los estudios agregados parecen confirmar que el procedimiento NPC mide la inten-

sidad de la ciencia de las innovaciones patentadas; sin embargo, aparece un panorama más difuso cuando se trata de determinar el tipo de relación entre investigación publicada e invenciones patentadas (Tijssen *et al.*, 2000; Tijssen, 2002). Narin *et al.* (1997) son relativamente optimistas en relación con el uso de la metodología NPC para medir las relaciones de dependencia de la tecnología con la investigación académica. Otros autores son menos contundentes y prefieren hablar de interacciones ciencia-tecnología más que de dependencia científica, demanda científica o uso de la ciencia (Schmoch, 1993; Meyer, 2000a; Tijssen, 2002).

En resumen, varios estudios de validación parecen haber rebajado el grado de optimismo de los trabajos iniciales de Narin y sus coautores a la hora de interpretar los resultados derivados del estudio de las NPCs. La conclusión final se sintetiza en que se trata de un indicador razonable para reflejar las relaciones ciencia-tecnología y ayuda a comprender cómo se relacionan los distintos campos científicos con los sectores tecnológicos, pero debemos ser cautos en su interpretación: no recoge todas las formas en que el ámbito científico se relaciona con la industria, y no refleja relaciones de causalidad; aunque algunos autores continúan expresando términos como «relaciones de dependencia» o «impulso de la ciencia a la tecnología», es más adecuado interpretar los resultados en términos de interacciones o flujos ciencia-tecnología.

INDICADORES

En este trabajo, además del recuento habitual de las citas de patentes y de la obtención de valores medios de citas por patente, se han derivado algunos indicadores útiles para evaluar las relaciones sectoriales ciencia-tecnología para el conjunto de España y su localización desde una perspectiva regional. Para analizar la intensidad sectorial relativa de los flujos ciencia-tecnología se define el indicador ICT de intensidad en el uso de conocimiento científico de cada sector tecnológico (intensidad científica de la tecnología):



$$ICT_j = \tanh[\ln[(C_j/E_i C_i)/(P_j/E_j P_j)]]$$

Donde j denota el sector tecnológico e i el campo científico. C_i designa las referencias científicas en el campo i , y P_j las patentes por cada sector tecnológico j . Para un determinado campo científico se ha seguido la sugerencia de Schmoch (1997), que consiste en tomar logaritmos y tangentes hiperbólicas con el objeto de obtener un rango simétrico dentro de los límites $\forall 1$, con 0 como punto neutral.

Este indicador compara la media de citas por patente en un sector tecnológico, con la media de citas por patente de todos los sectores en el mismo campo. Un valor positivo para un sector indica una relación ciencia-tecnología sobre la media (más intensa cuanto más cercano a uno), y los negativos inferior a la media de todos los sectores (más débil cuanto más próximo a menos uno). Para todos los campos científicos, el indicador intensidad agregada de flujos para cada sector tecnológico j es:

$$ICT_j = \tanh[\ln[(E_i C_{ij}/E_{ij} C_{ij})/(P_j/E_j P_j)]]$$

Con el objeto de disponer de una percepción más completa de las relaciones entre la tecnología y el ámbito científico, sugerimos aplicar el indicador anterior, además de a las citas científicas, a las citas de patentes realizadas por el solici-

tante. Esta variable nos permitirá apreciar si el sustento de la patente han sido invenciones previas relacionadas con la patente solicitada; es decir, si la relación con la tecnología patentada se ha producido, en este caso, con la propia tecnología. El indicador, que podemos denominar de intensidad tecnológica de la tecnología patentada, es:

$$ITT_j = \tanh[\ln[(CP_j/E_j CP_j)/(P_j/E_j P_j)]]$$

Donde ahora CP_j es el número de citas de patentes hechas por el solicitante dentro del texto de la patente.

A efectos de establecer medidas de política científica es particularmente interesante conocer qué campos científicos se relacionan con un mayor número de sectores o cuáles son más específicos en las relaciones con la tecnología. Los siguientes indicadores que hemos denominado de diversidad tecnológica de la ciencia (DTC) pueden orientar sobre estos aspectos:

DTC1, DTC2, DTC4: concentración de citas en el sector que más cita de un campo, los dos que más citan y los cuatro que más citan, respectivamente. Su interpretación es sencilla y nos permite apreciar cuáles son los campos científicos más específicos en su relación con la tecnología.

HDTC: Este indicador está basado en el índice de Herfindahl, que, como es conocido, se utiliza habitualmente para evaluar el grado de concentración industrial. En este caso se va a calcular para determinar la concentración sectorial de los flujos ciencia-tecnología, por lo que su valor global vendrá dado por $H = \sum C_{ij}^2$. El resultado estará dentro de los límites $(1/n, 1)$, donde n es el número de sectores considerados; si todas las citas se concentran en un sector, el índice tomará valor 1, si existe una equidistribución, su valor será $1/n$.

Tal como se define en su forma original, los valores extremos del indicador dependen del número de sectores. Para evitar este inconveniente y proporcionar una interpretación más clara se ha realizado un cambio de escala para ubicarlo dentro de los límites $(0,1)$. La proximidad a 1 sugiere concentración en pocos sectores, la proximidad a 0 denota una mayor equidistribución. Es decir:

$$HDTC_i = 1 + \ln(\sum C_{ij}^2) / \ln(n)$$

Estos indicadores, junto con otros ya tradicionales, se han calculado para el conjunto de España. Paralelamente, se ha realizado una aplicación regional que nos permitirá evaluar las divergencias regionales de flujos ciencia-tecnología con indicadores de concentración de la misma naturaleza que los anteriores, pero aplicados horizontalmente (al conjunto de todas las comunidades autónomas dentro de cada sector); a estos indicadores los hemos denominado IRC (intensidad regional de la ciencia), DR1, DR2, DR4 (diversidad regional de la tecnología) y HR (Herfindahl regional) para diferenciarlos de los anteriores.

MODELO

La intención en este apartado es proponer un modelo que pueda ser utilizado como instrumento analítico para identificar las causas que determinan la variabilidad de los flujos ciencia-tecnología. De acuerdo con la metodología expuesta, se asume que las citas NPC o las citas científicas son una medida adecuada de los flujos ciencia-tecnología. La naturaleza de estos datos sugiere varias alter-

nativas para modelizar las citas en los documentos de patentes (variable *proxy* de los flujos ciencia-tecnología) en función de un conjunto de variables explicativas: modelos de respuesta binaria o alguna de las variedades de modelos de recuento.

La experiencia previa de varios investigadores sugiere que los modelos de respuesta binaria ofrecen una buena solución para estudiar este tipo de fenómenos. La presencia de citas con unos determinados atributos representa un suceso binario a partir del cual se intenta estimar la probabilidad de que ocurra. Este suceso se relaciona con un conjunto de variables explicativas con el objeto de derivar implicaciones analíticas sobre la estructura y características de los flujos ciencia-tecnología. La variable dependiente, por tanto, toma valor igual a uno si la patente contiene al menos una referencia científica, y valor cero en caso contrario. Para identificar *a priori* el número de los elementos que potencialmente pueden afectar a las relaciones ciencia-tecnología (variable explicativa) se ha acudido a la literatura reciente (6).

Cooperación. Una de las posibles causas de las deficientes relaciones entre el ámbito científico y el sector industrial puede ser la ausencia de relaciones directas entre las empresas que desarrollan la tecnología y las universidades que generan el conocimiento científico. Gran parte de los flujos de conocimiento se canaliza a través de colaboraciones formales e informales por medio de proyectos conjuntos (Schartinger *et al.*, 2002).

El uso de la ciencia debería ser mayor cuando se produce un contacto directo a través de un proyecto de colaboración entre empresa y universidad. Se utiliza como *proxy* de esta colaboración directa el desarrollo conjunto de patentes entre empresas y universidades; se trata de una variable binaria que se denomina COOPERACIÓN y que toma valor uno si la cita pertenece a una patente desarrollada en colaboración con una universidad y cero en caso contrario.

Calidad y novedad de la patente. Las patentes españolas, en el momento de la solicitud, y hasta su publicación definiti-

va, son sometidas a una revisión por parte de los examinadores de la Oficina Española de Patentes y Marcas; el resultado de este análisis, determinante para la calidad de la patente, se plasma al final del documento en el Informe sobre el Estado de la Técnica (IET). En él los examinadores reflejan el grado de similitud de las reivindicaciones con patentes o artículos ya existentes.

Podría darse el caso de que una patente sea finalmente concedida pero con un Informe sobre el Estado de la Técnica donde en todas las reivindicaciones el examinador ha encontrado documentos de particular relevancia; en estos casos la patente, aunque concedida, es de dudosa calidad, puesto que se habrían detectado patentes previas de la misma naturaleza. Por otra parte, Schmoch (1993) y Meyer (2000a) sostienen que los examinadores de las patentes citan literatura científica porque el estado del arte no se puede documentar con otras patentes, es decir, que no existen invenciones previas que se asemejen al documento que se pretende patentar.

El argumento de los autores de este artículo es que los flujos ciencia-tecnología se producen con mayor intensidad en el desarrollo de tecnología de calidad o en aquellos inventos de más novedad con respecto al estado de la técnica existente. Aunque existen varias medidas asociadas a la calidad (Hall *et al.*, 2000), se requiere gran cantidad de información para calcularlas, por lo que se ha optado por un indicador simple, como el número de referencias a documentos de patentes que realiza el examinador en el «informe sobre el estado de la técnica» y que restan validez a las reivindicaciones del solicitante, variable a la que se ha denominado IETPAT (7) (8).

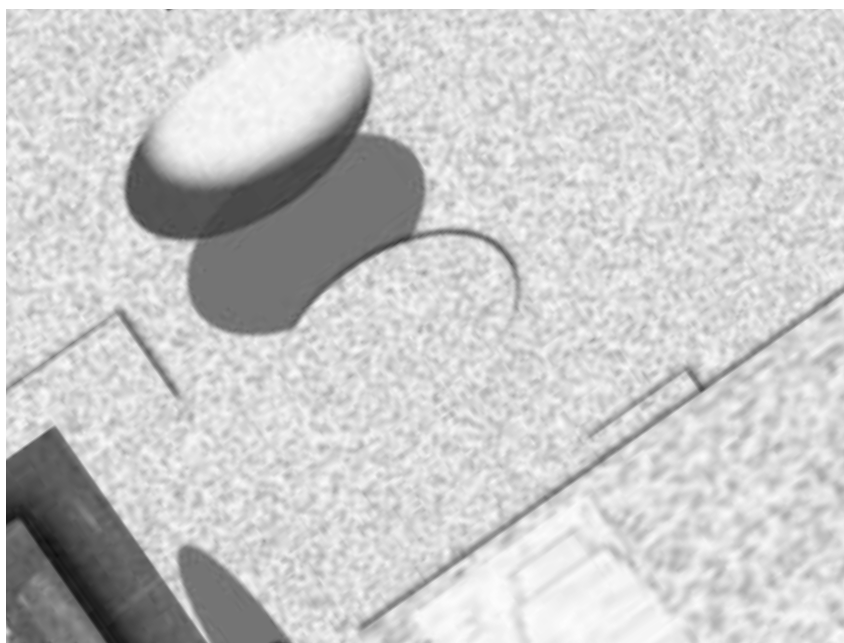
Características sectoriales. Como se ha demostrado en varios análisis, los sectores sometidos a procesos tecnológicos acelerados de cambio y obsolescencia (biotecnología, química, etc.) suelen presentar mayores relaciones con el entorno científico que el resto. Por otra parte, para que se produzca una transferencia de conocimiento científico hacia el sector industrial, las empresas deben disponer de cierta capacidad de absorción, que suele

estar relacionada con las experiencias de aprendizaje que genera el desarrollo de actividades de investigación científica y desarrollo tecnológico (I+D).

Las actividades de I+D ejercen, de esta forma, una doble función: por un lado contribuyen al desarrollo de nuevos productos y procesos productivos y, por otro, potencian la capacidad de aprendizaje (Schartinger *et al.*, 2002). En los modelos que consideran el total de la muestra de patentes se han discriminado los sectores relacionados con los procesos químicos (Grupo III) a través de una variable binaria SECQUIM (toma valor uno si la patente pertenece a una de las categorías del Grupo III-química y productos farmacéuticos, cero en caso contrario).

En un segundo grupo de modelos que sólo incluye los sectores químicos, se han discriminado los sectores según intensidad tecnológica, con las siguientes variables binarias: SEC9+SEC10 (valor uno si la patente es puramente química —sectores 9 y 10—, cero en caso contrario); SEC11+SEC12 (valor uno si la patente es de farmacia o biotecnología —sectores 11 y 12—, cero en caso contrario); SEC13+SEC15 (valor uno si la patente es de materiales y metalurgia o industria del petróleo —sectores 13 y 15—, cero en caso contrario). La categoría base es, en consecuencia, el sector restante del Grupo III, es decir, patentes relacionadas con agricultura y química alimentaria. Esta separación permite diferenciaciones por intensidad tecnológica, ya que los sectores 11 y 12 son de alta intensidad tecnológica, los sectores 9, 10, 13 y 15 de intensidad media y la categoría base, el sector 14, de intensidad tecnológica baja.

Localización y entorno científico. En los ámbitos regionales, la aplicación de una metodología descriptiva basada en el análisis de espacios concretos —distritos de alta tecnología (Markusen *et al.*, 1986; Saxenian, 1994; Sternberg y Tamásy, 1999; Weber y Stam, 1999), sistemas regionales de innovación (Cooke *et al.*, 1998; Brazyck *et al.*, 1998) y algunos otros que plantean una metodología econométrica para identificar las externalidades o efectos locales de la investigación científica (Varga, 1998; Anselin *et al.*, 1997, 2000)— ha puesto de relieve que la presencia de conocimiento



científico también es relevante en espacios inferiores al ámbito nacional por los efectos desbordamiento que se generan hacia el sector industrial.

La proliferación de esta consistente literatura, que resalta la importancia de la proximidad física para el flujo de conocimiento y el desarrollo y fomento de la innovación, unida a las altas cotas de autogobierno de las regiones españolas (con posibilidades de desarrollar sus propias políticas de I+D), sugiere que las relaciones del ámbito científico con el sector industrial pueden ser más intensas en las regiones donde el potencial científico es más relevante en relación con las demás. La cuantificación de esta circunstancia se realiza a través de variables binarias; es decir, asignando un valor uno para las regiones donde el gasto en investigación en universidades adquiere cierta relevancia, y cero en el resto. Para fijar la frontera se ha calculado la media del gasto en investigación por habitante en la última década, observándose que son tres regiones (Navarra, Madrid y Cataluña) las que están por encima de la media (un 59%, 46% y 10%, respectivamente).

Las variables consideradas las hemos denominado MADRID: la empresa que patenta está ubicada en la Comunidad Autónoma de Madrid (valor uno, cero en caso contra-

rio); CATALUÑA: la empresa que patenta está ubicada en Cataluña (valor uno, cero en caso contrario); NAVARRA: la empresa que patenta está ubicada en Navarra (valor uno, cero en caso contrario). La literatura comentada ha puesto de relieve que los flujos de conocimiento tecnológico son frecuentes entre el sector industrial en espacios concretos. Para contrastar si también se producen flujos de conocimiento científico en el propio sector industrial se incorporará al modelo una variable que relaciona los flujos ciencia-tecnología con los niveles de especialización tecnológica; esta característica se recoge con la variable ESPECIALI: la empresa está ubicada en una región especializada sectorialmente en el mismo tipo de tecnología de la patente (valor uno, cero en caso contrario).

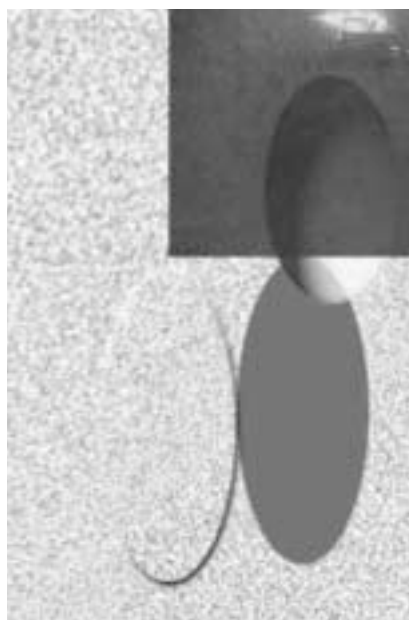
La formalización del modelo viene dada por la expresión $y_i = F(X_i\beta) + u_i$, donde se seguirá una distribución logística, siendo β el vector de parámetros y X el conjunto de las variables explicativas señaladas. La estimación se realizará por máxima verosimilitud (9), utilizando tanto las citas totales NPC, como las citas científicas ISI para todos los sectores. Con el objeto de alcanzar mayor robustez en los resultados, se obtendrán las estimaciones correspondientes a todos los sectores y a los de mayor propensión a citar (sectores del Grupo III-química y productos farmacéuticos).

• • • • • DATOS

Para evaluar las relaciones ciencia-tecnología en España con la metodología NPC se ha realizado una revisión exhaustiva de las 1.643 patentes solicitadas por 1.129 empresas, y publicadas a lo largo de los años 1998 a 2001, ambos inclusive (10) (11). La fuente fundamental de datos han sido los propios documentos de patentes publicados por la Oficina Española de Patentes y Marcas. En consecuencia, y en contra de lo que viene siendo habitual cuando se aplica esta metodología, el análisis se ha realizado utilizando las patentes domésticas (NLP), en lugar de la patente europea (EPO), internacional (PCT) o americana (USPTO).

La razón de esta elección es la propia delimitación o ámbito del trabajo; el uso de la patente nacional amplía la información: las patentes domésticas son las más abundantes y además no se introducen distorsiones (no se deja al margen tecnología de calidad que sigue otras vías de protección, puesto que la mayor parte de las patentes que siguen una vía europea, internacional o americana lo hacen utilizando la prioridad española y, por tanto, han sido solicitadas previamente por la vía nacional NLP). A esto se le une que, si se pretende complementar el análisis nacional con datos regionales, en muchas de las regiones españolas (sobre todo en las menos favorecidas) las patentes EPO, PCT o USPTO son poco representativas de la tecnología que se desarrolla en estas zonas. Por otra parte, el análisis efectuado —sobre el texto íntegro de la patente y no sobre la primera página— difiere ligeramente del realizado por otros autores que han optado por las patentes USPTO (12).

La información primaria se ha obtenido en dos etapas. En una primera fase las patentes se han clasificado de acuerdo con un criterio suficientemente difundido que distingue entre cinco áreas tecnológicas y treinta subcampos basados en la Clasificación Internacional de Patentes (IPC) (13). Del conjunto de patentes examinadas, recogen citas NPC (literatura científica, libros de texto y otras citas) un total de 163 (el 9,92% de las patentes),



que corresponden a 79 empresas (el 6,99% de las que patentan). Las referencias NPC recogidas se elevan, para el grupo de las 163 patentes, a 1.427 citas, de las cuales 969 corresponden a revistas incluidas en el Institute for Scientific Information (ISI); es decir, el 67,90% de todas las referencias NPC corresponden a lo que generalmente se acepta como «investigación científica de calidad».

Como complemento a esta información se han procesado también las referencias a otros documentos de patentes realizadas por el solicitante en el texto del documento (citas de patentes o PC). Las referencias PC se elevan a 1.639 y aparecen en un total de 509 patentes (el 30,97%); el solicitante tiende, por tanto, a incluir citas de patentes con mayor frecuencia que citas NPC.

En una segunda fase se han clasificado todas las referencias científicas en revistas del ISI (969 citas científicas) por campos científicos (14). El procedimiento de obtención de las citas y su posterior clasificación ha sido manual, es decir, se ha llevado a cabo un examen exhaustivo del conjunto de patentes objeto de análisis. En los casos de duda se ha contado con expertos en bibliometría de nuestra Universidad e investigadores de los campos científicos seleccionados. Los cinco grandes grupos científicos que se han tomado y la

distribución de citas imputadas a cada campo es la siguiente (cuando una misma revista se incluye en varios campos distintos se ha dividido por el número de campos):

✓ CV: Ciencias de la vida: 686 referencias científicas (70,81%).

✓ ABCA: Agricultura, biología y ciencias ambientales: 116 referencias científicas (11,94%).

✓ FQ: Física, química y ciencias de la Tierra: 78 referencias científicas (8,07%).

✓ MC: Medicina clínica: 75 referencias científicas (7,69%).

✓ ICT: Ingeniería, computación y tecnología: 15 referencias científicas (1,50%).

• • • • • RESULTADOS

Los resultados de la aplicación de la metodología se presentan en este apartado desde una doble perspectiva. En primer lugar se relaciona la información correspondiente a los datos descriptivos e indicadores sugeridos, que permite establecer el diagnóstico sobre el tipo y características sectoriales y regionales de las relaciones ciencia-tecnología. En segundo lugar figuran las estimaciones del modelo planteado; esta información facilita una primera aproximación a la identificación de los factores que determinan los flujos ciencia-tecnología.

LAS RELACIONES CIENCIA-TECNOLOGÍA, CUANTIFICADAS A TRAVÉS DE LAS CITAS CIENTÍFICAS EN LAS PATENTES

El cuadro 1 recoge el detalle de la información básica clasificada sectorialmente. En ella figuran la distribución sectorial del número de patentes, número de empresas que han solicitado las patentes, número total de citas científicas (NPC) y número de citas de patentes (PC). En el cuadro 2 figura, por cada sector tecnológico, el número de citas científicas (ISI) por cada

LAS RELACIONES CIENCIA-TECNOLOGÍA EN ESPAÑA...

CUADRO 1
PATENTES, EMPRESAS, CITAS CIENTÍFICAS (NPC) Y CITAS DE PATENTES (PC). 1998-2001
CLASIFICACIÓN SECTORIAL

Sector tecnológico	Patentes		Empresas		Nº PAT/ Nº EMP	Citas NPC				Citas PC	
	Nº	ESP=100	Nº	ESP=100		Total Nº	Total ESP=100	ISI ESP=100	%ISI/ Total	Nº	ESP=100
I. INGENIERÍA ELÉCTRICA											
1. Maquinaria eléctrica y aparatos, energía eléctrica	139	8,46	68	6,02	2,04	4	0,28	0,21	50,00	87	5,31
2. Tecnología audiovisual	37	2,25	27	2,39	1,37	0	0,00	0,00	-	10	0,61
3. Telecomunicaciones	57	3,47	32	2,83	1,78	8	0,56	0,10	12,50	12	0,73
4. Tecnología de la información	13	0,79	12	1,06	1,08	0	0,00	0,00	-	18	1,10
5. Semiconductores	4	0,24	3	0,27	1,33	0	0,00	0,00	-	1	0,06
II. INSTRUMENTOS											
6. Óptica	7	0,43	3	0,27	2,33	0	0,00	0,00	-	0	0,00
7. Análisis, medición y tecnología de control	127	7,73	83	7,35	1,53	12	0,84	0,62	50,00	111	6,77
8. Tecnología médica	54	3,29	42	3,72	1,29	11	0,77	0,52	45,45	29	1,77
III. QUÍMICA Y PRODUCTOS FARMACÉUTICOS											
9. Química orgánica fina	80	4,87	36	3,19	2,22	500	35,04	37,87	73,40	250	15,25
10. Química macromolecular, polimeros	10	0,61	9	0,80	1,11	8	0,56	0,31	37,50	19	1,16
11. Productos farmacéuticos, cosmética	58	3,53	33	2,92	1,76	221	15,49	16,20	71,04	166	10,13
12. Biotecnología	26	1,58	10	0,89	2,60	466	32,66	34,16	71,03	91	5,55
13. Materiales, metalurgia	42	2,56	32	2,83	1,31	35	2,45	0,72	20,00	75	4,58
14. Agricultura, química alimentaria	56	3,41	51	4,52	1,10	67	4,70	4,85	70,15	70	4,27
15. Ind. química y del petróleo, química de mat. básicos	34	2,07	25	2,21	1,36	58	4,06	2,99	50,00	44	2,68
IV. INGENIER. DE LOS PROCESOS, EQUIP. ESPECIAL											
16. Ingeniería química	40	2,43	34	3,01	1,18	6	0,42	0,10	16,67	21	1,28
17. Tecnología de las superficies y revestimientos	19	1,16	19	1,68	1,00	9	0,63	0,62	66,67	25	1,53
18. Procesamiento de materiales, textiles, papel.	74	4,50	58	5,14	1,28	0	0,00	0,00	-	35	2,14
19. Procesos térmicos y aparatos	37	2,25	20	1,77	1,85	0	0,00	0,00	-	31	1,89
20. Tecnología ambiental	26	1,58	24	2,13	1,08	5	0,35	0,31	60,00	38	2,32
V. INGENIERÍA MECÁNICA, MAQUINARIA											
21. Maquinaria de herramientas	52	3,16	38	3,37	1,37	0	0,00	0,00	-	42	2,56
22. Motores, bombas y turbinas	23	1,40	16	1,42	1,44	3	0,21	0,00	0,00	20	1,22
23. Elementos mecánicos	46	2,80	29	2,57	1,59	0	0,00	0,00	-	28	1,71
24. Manipulación, imprenta	138	8,40	104	9,21	1,33	0	0,00	0,00	-	91	5,55
25. Maq. y aparatos para la agric. y tratam. de alimentos	70	4,26	58	5,14	1,21	9	0,63	0,41	44,44	74	4,51
26. Transporte	79	4,81	53	4,69	1,49	0	0,00	0,00	-	66	4,03
27. Ingeniería nuclear	2	0,12	2	0,18	1,00	0	0,00	0,00	-	15	0,92
28. Tecnología espacial, armas	10	0,61	7	0,62	1,43	0	0,00	0,00	-	18	1,10
29. Bienes de equipo y consumo	144	8,76	100	8,86	1,44	5	0,35	0,00	0,00	75	4,58
30. Ingeniería civil, construcción y minería	139	8,46	101	8,95	1,38	0	0,00	0,00	-	77	4,70
TOTAL	1.643	100,00	1.129	100,00	1,46	1.427	100,00	100,00	67,90	1.639	100,00

FUENTES: OEPM y elaboración propia.

CUADRO 2
RELACIONES CIENCIA-TECNOLOGÍA Y TECNOLOGÍA-TECNOLOGÍA. 1998-2001

Sector tecnológico	Citas NPC	Citas científicas (ISI)		Citas de patentes		Citas
	Nº/PAT	Nº/Nº PAT	ICT	Nº PAT	ITT	CIENT ISI/CIT PAT
I. INGENIERÍA ELÉCTRICA						
1. Maquinaria eléctrica y aparatos, energía eléctrica	0,03	0,01	-0,999	0,63	-0,435	0,02
2. Tecnología audiovisual	0,00	0,00	-	0,27	-0,863	0,00
3. Telecomunicaciones	0,14	0,02	-0,998	0,21	-0,915	0,08
4. Tecnología de la información	0,00	0,00	-	1,38	0,317	0,00
5. Semiconductores	0,00	0,00	-	0,25	-0,882	0,00
II. INSTRUMENTOS						
6. Óptica	0,00	0,00	-	0,00	-	-
7. Análisis, medición y tecnología de control	0,09	0,05	-0,987	0,87	-0,131	0,05
8. Tecnología médica	0,20	0,09	-0,952	0,54	-0,551	0,17
III. QUÍMICA Y PRODUCTOS FARMACÉUTICOS						
9. Química orgánica fina	6,25	4,59	0,967	3,13	0,815	1,47
10. Química macromolecular, polímeros	0,80	0,30	-0,589	1,90	0,568	0,16
11. Productos farmacéuticos, cosmética	3,81	2,71	0,909	2,86	0,783	0,95
12. Biotecnología	17,92	12,73	0,996	3,50	0,850	3,64
13. Materiales, metalurgia	0,83	0,17	-0,852	1,79	0,524	0,09
14. Agricultura, química alimentaria	1,20	0,84	0,339	1,25	0,222	0,67
15. Ind. quím. y del petróleo, química de mat. básicos	1,71	0,85	0,353	1,29	0,255	0,66
IV. ING. DE LOS PROCESOS, EQUIP. ESPECIAL						
16. Ingeniería química	0,15	0,03	-0,996	0,53	-0,566	0,05
17. Tecnología de las superficies y revestimientos	0,47	0,32	-0,554	1,32	0,270	0,24
18. Procesamiento de materiales, textiles, papel	0,00	0,00	-	0,47	-0,633	0,00
19. Procesos térmicos y aparatos	0,00	0,00	-	0,84	-0,173	0,00
20. Tecnología ambiental	0,19	0,12	-0,926	1,46	0,364	0,08
V. INGENIERÍA MECÁNICA, MAQUINARIA						
21. Maquinaria de herramientas	0,00	0,00	-	0,81	-0,208	0,00
22. Motores, bombas y turbinas	0,13	0,00	-	0,87	-0,136	0,00
23. Elementos mecánicos	0,00	0,00	-	0,61	-0,457	0,00
24. Manipulación, imprenta	0,00	0,00	-	0,66	-0,392	0,00
25. Maq. y apar. para la agric. y tratam. de alimentos	0,13	0,06	-0,981	1,06	0,058	0,05
26. Transporte	0,00	0,00	-	0,84	-0,176	0,00
27. Ingeniería nuclear	0,00	0,00	-	7,50	0,965	0,00
28. Tecnología espacial, armas	0,00	0,00	-	1,80	0,530	0,00
29. Bienes de equipo y consumo	0,03	0,00	-	0,52	-0,572	0,00
30. Ingeniería civil, construcción y minería	0,00	0,00	-	0,55	-0,529	0,00
TOTAL	0,87	0,59	0,000	0,99	0,000	0,59

FUENTES: OEPM y elaboración propia.

patente y el indicador de intensidad científica de la tecnología. Estos datos ponen de relieve los siguientes resultados:

Concentración sectorial de los flujos ciencia-tecnología. Para todos los sec-

tores puede apreciarse que, por término medio, la relación entre la distribución sectorial de la tecnología (patentes) y los flujos ciencia-tecnología (citas científicas) es muy baja; la correlación entre ambas variables presenta

un coeficiente próximo a cero. En cambio, la relación entre tecnología (patentes) y los flujos tecnología-tecnología (citas de patentes) es bastante más estrecha que la anterior, con un coeficiente de correlación de 0,52.

CUADRO 3
DISTRIBUCIÓN DE CITAS POR SECTORES Y CAMPOS CIENTÍFICOS (ISI). 1998-2001

Sector tecnológico	Nº de citas						Distribución (%)					
	CV	ABCA	FQ	MC	ICT	Total	CV	ABCA	FQ	MC	ICT	Total
I. INGENIERÍA ELÉCTRICA												
1. Maq. eléc. y aparatos, energía eléctrica	0,00	0,00	0,50	0,00	1,50	2	0,00	0,00	25,00	0,00	75,00	100
3. Telecomunicaciones	0,00	0,00	0,00	0,00	1,00	1	0,00	0,00	0,00	0,00	100,00	100
7. Análisis, medición y tecnología de control	1,00	0,00	1,00	1,00	3,00	6	16,67	0,00	16,67	16,67	50,00	100
8. Tecnología médica	3,83	0,33	0,33	0,50	0,00	5	76,66	6,66	6,66	10,00	0,00	100
III. QUÍMICA Y PRODUCTOS FARMACÉUTICOS												
9. Química orgánica fina	263,33	18,83	54,33	30,00	0,50	367	71,75	5,13	14,80	8,17	0,14	100
10. Química macromolecular, polímeros	0,00	1,00	1,00	0,00	1,00	3	0,00	33,33	33,33	0,00	33,33	100
11. Productos farmacéuticos, cosmética	131,33	2,33	1,83	21,50	0,00	157	83,65	1,49	1,17	13,69	0,00	100
12. Biotecnología	259,83	47,83	10,33	12,00	1,00	331	78,50	14,45	3,12	3,63	0,30	100
13. Materiales, metalurgia	0,00	0,00	1,50	0,00	5,50	7	0,00	0,00	21,43	0,00	78,57	100
14. Agricultura, química alimentaria	17,33	19,33	0,83	9,50	0,00	47	36,88	41,13	1,77	20,21	0,00	100
15. Ind. quím. y del petróleo, quím. de mat. básicos	8,50	20,50	0,00	0,00	0,00	29	29,31	70,69	0,00	0,00	0,00	100
IV. INGENIERÍA DE LOS PROCESOS, EQUIP. ESPECIAL												
16. Ingeniería química	1,00	0,00	0,00	0,00	0,00	1	100,00	0,00	0,00	0,00	0,00	100
17. Tecnología de las superficies y revestimientos	0,00	0,00	5,50	0,00	0,50	6	0,00	0,00	91,67	0,00	8,33	100
20. Tecnología ambiental	0,00	1,50	1,00	0,00	0,50	3	0,00	50,00	33,33	0,00	16,67	100
V. INGENIERÍA MECÁNICA, MAQUINARIA												
25. Maq. y aparatos para la agric. y tratam. de alimentos	0,00	4,00	0,00	0,00	0,00	4	0,00	100,00	0,00	0,00	0,00	100
TOTAL	686,00	116,00	78,00	75,00	15,00	969	70,81	11,94	8,07	7,69	1,50	100

CV: Ciencias de la vida. ABCA: Agricultura, biología y ciencias ambientales. FQ: Física, química y ciencias de la Tierra. MC: Medicina clínica. ICT: Ingeniería, computación y tecnología.

FUENTES: OEPM y elaboración propia.

Esta primera aproximación nos indica que, por término medio, los mayores flujos ciencia-tecnología no se producen en los sectores en los que más se concentra la actividad tecnológica; las invenciones patentadas se relacionan más con otras invenciones previas patentadas a través de un proceso de difusión temporal/sec-torial de la tecnología (citas de patentes que corresponden a años anteriores y a sectores diferentes), que con los avances científicos (citas científicas).

Si entramos en un detalle más desagrega-do, los principales flujos ciencia-tecnología están concentrados en unos pocos sectores relacionados con los procesos químicos (9. Química orgánica fina, con el 35,04% de las citas; 12. Biotecnología, con el 32,66%; 11. Productos farmacéuti-cos, con el 15,49%; y 14. Agricultura y

química alimentaria, con el 4,70%). Estos sectores representan el 15,46% de las patentes y aglutinan el 91,94% de las ci-tas NPC (el 93,08% de las citas científi-cas ISI); es decir, su importancia relativa en el conjunto de las actividades tecno-lógicas (patentadas) es más bien escasa, pero se produce una fuerte relación de este tipo de tecnología con el ámbito científico.

Por el contrario, los sectores tecnológi-camente más dinámicos (29. Bienes de equipo y consumo, con el 8,76% de las patentes; 30. Ingeniería civil, construc-ción y minería, con el 8,46%; 1. Maqui-naria eléctrica, aparatos y energía eléctri-ca, con el 8,46%; 24. Manipulación e imprenta, con el 8,39%; y 7. Análisis, medición y tecnología de control, con el 7,72%) presentan una escasa relación

con el ámbito científico; en conjunto su-ponen el 41,81% de las patentes, pero sólo el 1,47% de las citas NPC (el 0,82% de las citas científicas ISI).

Estos primeros datos evidencian que la correspondencia de estos sectores tecno-lógicos con el ámbito científico es muy escasa. Su relación se manifiesta con el propio sector industrial (obsérvese que agrupan el 26,90% de las citas de paten-tes o PC).

Intensidad científica de la tecnología.

Por término medio se citan en España 0,87 referencias NPC por patente domés-tica (0,59 artículos científicos ISI por pa-ten-te). Esta cifra está en consonancia con la que se observa en la Oficina de Paten-tes Europeas (EPO) (0,85 NPC por paten-te) y es superior al número de citas

CUADRO 4
INTENSIDAD CIENTÍFICA DE LA TECNOLOGÍA (ICT) POR CADA CAMPO CIENTÍFICO ISI. 1998-2001

CV		ABCA		FQ		MC		ICT	
SECTOR	ICT	SECTOR	ICT	SECTOR	ICT	SECTOR	ICT	SECTOR	ICT
12	0,997	12	0,997	9	0,990	12	0,981	13	0,991
9	0,968	15	0,973	12	0,972	9	0,971	10	0,985
11	0,934	14	0,920	17	0,947	11	0,971	12	0,900
14	-0,291	9	0,836	10	0,631	14	0,867	17	0,798
15	-0,472	10	0,337	20	-0,209	8	-0,920	7	0,755
8	-0,944	20	-0,196	13	-0,279	7	-0,941	20	0,652
16	-0,993	25	-0,206	11	-0,388			3	0,596
7	-0,999	11	-0,508	14	-0,822			1	0,198
		8	-0,985	7	-0,947			9	-0,332
				8	-0,967				
				1	-0,989				

CAMPOS CIENTÍFICOS: CV: Ciencias de la vida. ABCA: Agricultura, biología y ciencias ambientales. FQ: Física, química y ciencias de la Tierra. MC: Medicina clínica. ICT: Ingeniería, computación y tecnología.

SECTORES: 1: Maquinaria eléctrica y aparatos, energía eléctrica. 2: Tecnología audiovisual. 3: Telecomunicaciones. 4: Tecnología de la información. 5: Semiconductores. 6: Óptica. 7: Análisis, medición y tecnología de control. 8: Tecnología médica. 9: Química orgánica fina. 10: Química macromolecular, polímeros. 11: Productos farmacéuticos, cosmética. 12: Biotecnología. 13: Materiales, metalurgia. 14: Agricultura, química alimentaria. 15: Industria química y del petróleo, química de mat. básicos. 16: Ingeniería química. 17: Tecnología de las superficies y revestimientos. 18: Procesamiento de materiales, textiles, papel. 19: Procesos térmicos y aparatos. 20: Tecnología ambiental. 21: Maquinaria de herramientas. 22: Motores, bombas y turbinas. 23: Elementos mecánicos. 24: Manipulación, imprenta. 25: Maquinaria y aparatos para la agric. y tratam. de alimentos. 26: Transporte. 27: Ingeniería nuclear. 28: Tecnología espacial, armas. 29: Bienes de equipo y consumo. 30: Ingeniería civil, construcción y minería.

FUENTE: Elaboración propia.

por patente de la oficina alemana (0,47 NPC por patente) y británica (0,23 NPC por patente) (15). Por sectores tecnológicos destacan sobre los demás el 12. Biotecnología (con una media de 12,73 artículos científicos por cada patente), 9. Química orgánica fina (4,59 artículos por patente) y 11. Productos farmacéuticos (2,71 artículos por patente). En términos relativos (con respecto a la media de todos los sectores), el indicador ICT nos proporciona una visión de conjunto de la intensidad tecnológica de cada sector. Obsérvese que los valores próximos a 1 (mayor intensidad) están presentes en los sectores de química, mientras que los valores próximos a -1 (menos intensidad) corresponden a los grupos de ingeniería e instrumentos.

Como complemento a la información anterior se ha calculado el número de citas de patentes (PC) por cada patente y el indicador de intensidad tecnológica de la tecnología patentada (ITT). Valores positivos y elevados aparecen en varios sectores de ingeniería, pero obsér-

CUADRO 5
DIVERSIDAD TECNOLÓGICA DE LA CIENCIA. 1998-2001

	CV	ABCA	FQ	MC	ICT	Total
DTC1	38,38	41,35	69,51	40,27	37,93	37,87
DTC2	76,25	59,08	82,72	69,13	58,62	72,03
DTC4	97,91	92,08	92,11	97,99	75,86	93,09
HDCT	0,67	0,60	0,80	0,63	0,54	0,63

FUENTES: OEPM y elaboración propia.

vese que también figuran entre los primeros puestos (relaciones más intensas con la tecnología patentada) los sectores antes mencionados, que ocupaban las posiciones más favorables en cuanto a intensidad con el sector científico (12. Biotecnología, 9. Química orgánica fina y 11. Productos farmacéuticos); ello implica que estos sectores no sólo presentan una elevada relación con la ciencia, sino que también utilizan la tecnología previamente patentada como fuente de sus propias invenciones (citan con frecuencia no sólo literatura científica, sino también patentes).

En cualquier caso, como también se desprende de la última columna del cuadro 2, donde figura el *ratio* citas científicas entre citas de patentes, las relaciones de los sectores químicos son más intensas con el ámbito científico que con el tecnológico.

El cuadro 3 recoge, en una primera parte, la distribución del número de citas científicas de cada sector tecnológico por cada campo científico (se han suprimido las filas que corresponden a sectores sin citas); en la segunda parte figura la distribución porcentual. En el cuadro 4 figuran, ordenados de mayor a

menor intensidad, los sectores más relacionados con la ciencia en cada campo científico con respecto a la media para todos los sectores. Obsérvese que, por término medio, la mayor parte de las referencias corresponden al campo de ciencias de la vida (70,81%).

Como ocurre en otros ámbitos, las relaciones ciencia-tecnología suelen presentar cierto grado de afinidad entre sector tecnológico y campo científico; es decir, en España también las relaciones ciencia-tecnología son bastante específicas (por ejemplo, el sector 9. Química orgánica, cita fundamentalmente artículos del campo de *Ciencias de la Vida y Física y Química*; el 11. Productos farmacéuticos y cosmética, cita el campo *Ciencias de la Vida y Medicina Clínica*, etc.).

Aunque en este comportamiento existen evidentes diferencias sectoriales, las mismas pautas se observan en casi todos los sectores con cierta representación (téngase en cuenta también que aunque se aprecie cierta dispersión en algunos campos, esta circunstancia viene motivada porque muchas revistas pueden enclavarse en varios de ellos, y como se especificó en el apartado metodológico, la imputación ha sido proporcional).

Diversidad tecnológica de la ciencia.

Algunos campos científicos tienen relación con un mayor número de sectores tecnológicos que otros. Efectivamente, el campo de *física y química* se relaciona con once sectores con diferentes niveles de intensidad, mientras que el campo de *medicina clínica* sólo con seis. Esta conclusión se complementa con los resultados recogidos en la cuadro 5, donde figuran distintos indicadores de concentración. A partir de estos datos se pone de relieve que, aunque determinados campos científicos se relacionan con más sectores que otros, la distribución no es homogénea; por ejemplo, el campo *física y química* está repartido en once sectores, pero muy polarizado en unos pocos, como se aprecia a partir de los indicadores de concentración y del índice HDT (el más elevado y próximo a la unidad).

Por lo que respecta a las peculiaridades regionales de los flujos, los cuadros 6, 7 y 8 recogen los datos básicos que permiten

CUADRO 6
PATENTES, EMPRESAS, CITAS CIENTÍFICAS (NPC) Y CITAS DE PATENTES PC. 1998-2001
DISTRIBUCIÓN REGIONAL

Sector tecnológico	Patentes		Empresas (*)		NºPAT/		Citas NPC		ISI		NºPC/		Citas PC		%NPC/	
	Total	ESP=100	Total	ESP=100	NºEMP	NºPAT	Total	ESP=100	Total	ESP=100	%EMP	%PC	Nº	ESP=100	%EMP	%PC
Andalucía	73	4,44	54	4,75	1,35	1,63	119	8,33	65	6,70	1,75	54,62	60	3,66	1,75	0,44
Cataluña	603	36,70	401	35,30	1,50	0,80	33,61	33,61	333	34,36	0,95	69,38	641	39,09	0,95	1,16
Madrid	341	20,75	245	21,57	1,39	1,07	25,49	25,49	256	26,41	1,18	70,33	335	20,43	1,18	0,80
País Vasco	146	8,89	99	8,71	1,47	0,58	5,95	5,95	65	6,70	0,68	76,47	162	9,88	0,68	1,66
Valencia	170	10,35	130	11,44	1,31	0,31	3,64	3,64	22	2,27	0,32	42,31	161	9,82	0,32	2,70
Navarra	90	5,48	40	3,52	2,25	1,66	10,43	10,43	105	10,84	2,96	70,47	85	5,18	2,96	0,50
Resto	220	13,39	167	14,70	1,32	0,81	12,54	12,54	123	12,69	0,85	68,72	196	11,95	0,85	0,95
TOTAL	1.643	100,00	1.136	100,00	1,45	0,87	100,00	100,00	969	100,00	1,00	67,86	1.640	100,00	1,00	1,00

(*) Los datos del número de empresas no coinciden con los del cuadro 1 por la obligada desagregación regional. Mientras en cuadro 1 se computa el número de empresas que patentan en el territorio nacional, en el cuadro 6 se ha incluido dicha cifra por comunidades autónomas; ello supone que una empresa con sede en dos CCAA, y que ha presentado una patente en cada una de ellas, se contabilizará en el cuadro 1 como una única empresa y en el cuadro 6 como dos empresas, ya que está presente en dos regiones.

FUENTES: OEPM y elaboración propia.

CUADRO 7
DIVERSIDAD REGIONAL DE LOS FLUJOS CIENCIA-TECNOLOGÍA (CITAS ISI) (*)

Sector tecnológico	ISI				Patentes (**)			
	DR1	DR2	DR4	HR	DR1	DR2	DR4	HR
9. Química orgánica fina	59,40	91,55	97,82	0,72	68,75	88,75	96,25	0,77
11. Productos farmacéuticos, cosmética	45,86	82,17	97,45	0,64	5,17	62,07	89,66	0,65
12. Biotecnología	34,74	52,87	79,46	0,45	34,62	53,85	76,92	0,47
14. Agricultura, química alimentaria	27,66	55,32	87,23	0,47	5,36	12,50	50,00	0,36
TOTAL	34,37	60,78	81,32	0,46	36,70	57,46	65,12	0,44

(*) Sectores con más de 30 citas científicas. (**) DR1, DR2 y DR4 corresponden a la concentración de patentes en las regiones con mayor concentración de citas ISI. HR está calculado para el conjunto de las 17 CCAA.

FUENTES: OEPM y elaboración propia.

CUADRO 8
INTENSIDAD REGIONAL DEL CONOCIMIENTO CIENTÍFICO (*)

	9. Química orgánica fina		11. Productos farmacéuticos, cosmética		12. Biotecnología		14. Agricultura, química alimentaria		Todos los sectores	
	ISI/PAT	IRC	ISI/PAT	IRC	ISI/PAT	IRC	ISI/PAT	IRC	ISI/PAT	IRC
Navarra	-	-	24,00	0,975	27,00	0,636	-	-	1,17	0,593
Andalucía	-	-	0,33	-0,970	10,50	-0,190	3,25	0,875	0,89	0,390
Madrid	7,38	0,442	0,60	-0,906	12,78	0,004	0,75	-0,112	0,75	0,237
Cataluña	3,96	-0,145	1,73	-0,421	8,20	-0,414	0,37	-0,677	0,55	-0,066
País Vasco	2,60	-0,514	-	-	23,00	0,531	-	-	0,45	-0,274
Valencia	-	-	3,00	0,102	-	-	-	-	0,13	-0,908

(*) Sectores con más de 30 citas científicas.

FUENTE: Elaboración propia.

40

evaluar algunas pautas globales de interés sobre la diversidad regional de los flujos ciencia-tecnología:

Concentración regional de los flujos ciencia-tecnología. Como se aprecia en el cuadro 6, Cataluña, Madrid y Navarra son, por este orden, las tres CCAA que concentran los mayores flujos, con el 69,53% de las citas NPC y el 71,61% de las citas científicas (ISI). La concentración de citas es superior a la del número de patentes (estas mismas CCAA agrupan el 62,93% de las patentes), lo que induce a pensar que la concentración de flujos ciencia-tecnología está aún más polarizada territorialmente que la propia tecnología.

Con el objeto de evitar los sesgos que introduce la agregación de todos los sectores, se han calculado algunos indicadores de concentración regional de los flujos

ciencia-tecnología para los sectores que más citas científicas incorporan en los documentos de patentes y se ha obtenido, para las mismas CCAA que más aglutinan esos flujos, su nivel de concentración de patentes (cuadro 7).

Obsérvese que, desde una perspectiva regional, no existe necesariamente una relación entre concentración de tecnología (patentes en un sector) y flujos ciencia-tecnología (citas científicas en las patentes del mismo sector); por ejemplo, en el sector 11. Productos farmacéuticos y cosmética, la región que aglutina el mayor número de citas es Navarra, con el 45,86% del conjunto nacional, mientras que en volumen de patentes este sector supone sólo el 5,17% del total nacional (véase DR1); si sumamos las dos que más citan —Navarra y Cataluña—, ambas suman el 82,17% en número de citas y el 62,07% en patentes (véase DR2).

Algo similar ocurre en el sector 14. Agricultura y química alimentaria, donde Castilla y León es la región que incorpora más citas científicas (27,66%), con tan sólo una participación nacional del 5,36% en número de patentes en este sector; las dos que más citan son Castilla y León y Andalucía, ambas con una participación del 55,32% en citas científicas y del 12,50% en patentes en el conjunto nacional.

Estos datos descriptivos sugieren que la pauta global de concentración de los flujos está condicionada por el peso de sectores tecnológicos con elevadas propensiones a citar literatura científica y de sectores tradicionales cuyos avances están sustentados sobre todo en tecnología previamente patentada. Sin embargo, si se desciende al detalle sectorial, parece desprenderse de los datos que se acaban de comentar que existe cierta re-

lación con la especialización económica regional.

Concentración empresarial de los flujos ciencia-tecnología. El *ratio* de distribución del número de citas en relación con la distribución del número de empresas proporciona una orientación general sobre el grado de concentración regional de los flujos por empresas. Madrid, Andalucía y Navarra presentan indicadores superiores a la unidad, lo que denota una mayor concentración de flujos en relación con el número de empresas que patentan.

Obsérvese en el cuadro 6 que una cifra que casi triplica la media nacional corresponde a Navarra, que con el 3,52% de las empresas que patentan, aglutina el 10,43% de las citas NPC y el 10,84% de las citas ISI. Un patrón de comportamiento contrario lo muestra la Comunidad Valenciana, que, con el 11,44% del conjunto de las empresas que patentan, agrupa sólo el 3,64% de las citas NPC.

Relaciones con la ciencia de calidad y con la tecnología previamente patentada. En el cuadro 6 figura el *ratio* entre el número de citas científicas ISI y el de citas totales NPC. País Vasco, Navarra, Madrid y Cataluña, por este orden, son las CCAA que utilizan ciencia de calidad en mayor proporción que el resto (*ratios* de citas ISI sobre citas NPC en torno al setenta por ciento). Obsérvese finalmente, en la última columna del cuadro 6, que la proporción de citas NPC y la proporción de citas PC en el conjunto nacional presentan una relación inversa. Navarra, Madrid y Andalucía tienen unos valores inferiores a la unidad, es decir, que en términos relativos (en relación con la media española), para la totalidad de sectores, estas regiones son más intensivas en conocimiento científico que tecnológico; mientras que comunidades autónomas como Cataluña, País Vasco y Valencia, cuya tecnología se apoya más en el desarrollo de tecnología previa patentada (citas de patentes), hacen un menor uso relativo de la ciencia.

Estas conclusiones se afianzan con el cálculo de los indicadores de intensidad regional relativa del conocimiento cien-

CUADRO 9
FACTORES EXPLICATIVOS DE LOS FLUJOS CIENCIA-TECNOLOGÍA.
RESULTADOS DE LAS ESTIMACIONES LOGIT
TODOS LOS SECTORES

	Citas NPC		Citas ISI	
	Modelo I	Modelo II	Modelo III	Modelo IV
CTE	-4,177* (-10,976)	-3,680* (-10,483)	-3,977* (-9,060)	-3,876* (-9,163)
COOPERA	2,642* (3,661)	2,320* (3,136)	2,463* (3,492)	2,204* (3,154)
IETPAT	-0,164* (-2,810)	-0,168* (-2,948)	-0,305* (-4,435)	-0,312* (-4,554)
SECQUIM	3,835* (14,764)	3,801* (14,979)	3,989* (12,008)	4,020* (12,157)
Madrid	0,804* (2,599)		0,382 (1,131)	
Cataluña	0,937* (3,529)		0,629** (2,209)	
Navarra	1,661* (3,465)		1,035 (1,921)	
ESPECIALI		0,355 (1,605)		0,483 (1,946)
Log max. veros.	-297,35	-305,64	-244,24	-245,62
Log max. veros. restr.	-531,25	-531,25	-449,57	-449,57
Ratio max. veros.	467,81	451,22	410,65	407,90
Pseudo R2	0,44	0,42	0,46	0,45
Nº Obs.	1.643	1.643	1.643	1.643
Nº Obs. con Dep=1	163	163	128	128

Estadísticos t entre paréntesis. (*) Parámetros estadísticamente significativos al 1%. (**) Parámetros estadísticamente significativos al 5%.

FUENTE: Elaboración propia.

tífico IRC (cuadro 8), que indican la intensidad de los flujos ciencia-tecnología en relación con la media nacional en cada sector. En ese cuadro figuran las CCAA ordenadas según intensidad total relativa.

UNA APROXIMACIÓN A LAS CAUSAS

El cuadro 9 recoge las estimaciones de los modelos *logit* especificados para todos los sectores. En la primera parte (Modelos I y II) figuran los resultados que utilizan como variable endógena las citas totales (NPC), mientras que en la segunda parte (Modelos III y IV) se presentan las estimaciones donde la variable endógena

se restringe a las citas científicas de calidad (ISI). Por otro lado, la estimación de dos modelos distintos para cada variable endógena (NPC o ISI) responde a que en un caso se han utilizado variables regionales que reflejan el entorno científico desde la perspectiva del gasto (Modelos I y III) y en el otro la variable regional recoge la especialización tecnológica (Modelos II y IV).

En los mencionados cuadros se observa que los coeficientes de la variable COOPERA (cooperación universidad-empresa en el desarrollo de patentes) son estadísticamente significativos y positivos en todos los modelos, lo que sugiere que la cooperación en el desarrollo de patentes con una universidad aumenta

la probabilidad de que se produzcan flujos de conocimiento (ciencia-tecnología), no sólo del tipo tácito, que lleva implícito el desarrollo conjunto de un proyecto, sino también de conocimiento codificado.

Los coeficientes asociados a la variable IETPAT son negativos y estadísticamente significativos en los cuatro modelos para todos los sectores, es decir, que cuantas más reivindicaciones anuladas por el examinador se encuentran en el documento, es menos probable que la patente incorpore citas científicas; en otros términos, a menor calidad de la tecnología, menos probable es que se produzcan flujos ciencia-tecnología. En cualquier caso, aunque la exogeneidad de esta variable presenta dudas (se cita menos porque la patente es de escasa calidad, o es de escasa calidad porque cita menos literatura científica), lo que sí es evidente es su relación negativa con los flujos ciencia-tecnología.

Los coeficientes de la variable SECQUIM son siempre positivos y significativos, lo que confirma el resultado ya obtenido con datos descriptivos, es decir, que las probabilidades de citar literatura científica aumentan cuando la patente es de un sector relacionado con los procesos químicos. Los coeficientes de las variables binarias regionales que expresan el potencial del ámbito científico desde la perspectiva del gasto (NAVARRA, MADRID, CATALUÑA) son positivos y estadísticamente significativos en el modelo de citas NPC, pero no significativos en el modelo de citas ISI.

Existen evidencias, por tanto, de la probabilidad de que se produzcan flujos ciencia-tecnología sea superior para las empresas ubicadas en estas regiones; sin embargo, empíricamente se trata de una evidencia débil y, en consecuencia, no debe interpretarse como efectos desbordamiento del ámbito científico. Finalmente, el coeficiente de la variable que refleja la circunstancia de que la patente se desarrolle en una región especializada en el mismo sector de la patente (ESPECIALI) no es estadísticamente significativo en ningún caso, de lo que se desprende que no existe relación entre especialización tecnológica regional y flujos ciencia-tecnología.

CUADRO 10
FACTORES EXPLICATIVOS DE LOS FLUJOS CIENCIA-TECNOLOGÍA.
RESULTADOS DE LAS ESTIMACIONES LOGIT
SECTORES QUÍMICOS

	Citas NPC		Citas ISI	
	Modelo V	Modelo VI	Modelo VII	Modelo VIII
CTE	1,036 (1,1046)	0,903 (0,986)	1,561 (1,535)	1,058 (1,084)
COOPERA	2,467* (2,709)	2,32* (2,608)	3,035* (3,057)	2,964* (3,125)
IETPAT	-0,197* (-2,672)	-0,202* (-2,781)	-0,312* (-3,784)	-0,334* (-4,018)
SEC9+SEC10	2,99* (5,893)	2,855* (5,798)	3,684* (5,771)	3,213* (5,275)
SEC11+SEC12	2,734* (5,488)	2,665* (5,45)	3,125* (5,013)	2,843* (4,687)
SEC13+SEC15	0,153 (0,277)	0,45 (0,853)	0,397 (0,573)	0,587 (0,868)
Madrid	-0,094 (-0,217)		-0,827 (-1,707)	
Cataluña	-0,047 (-0,124)		-0,748 (-1,78)	
Navarra	2,682* (3,331)		1,433 (1,748)	
ESPECIALI		0,138 (0,457)		0,418 (1,295)
Log max. veros.	-148,31	-155,02	-136,91	-140,75
Log max. veros. restr.	-211,31	-211,31	-203,55	-203,55
Ratio max. veros.	126,01	112,59	133,29	125,61
Pseudo R2	0,30	0,27	0,33	0,31
Nº Obs.	306	306	306	306
Nº Obs. con Dep=1	142	142	117	117

Estadísticos t entre paréntesis. (*) Coeficientes estadísticamente significativos al 1%.

FUENTE: Elaboración propia.

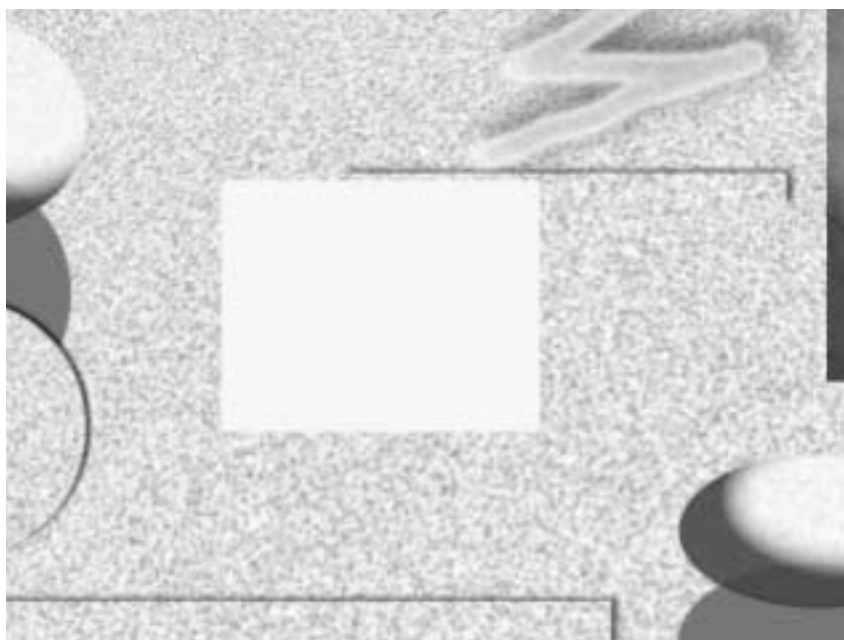
Con el objeto de llegar a conclusiones más robustas, las mismas especificaciones se han utilizado para modelizar las citas en los sectores relacionados con los procesos químicos (9 al 15, ambos inclusive), que son, como se expuso anteriormente, los de mayor propensión a citar. Las estimaciones figuran en el cuadro 10. Los resultados con respecto a las variables COOPERA, IETPAT y ESPECIALI son similares a los anteriores, por lo que se afianzan las conclusiones ya expuestas. Los coeficientes de las variables binarias sectoriales

SEC9+SEC10 (patentes puramente químicas, de intensidad tecnológica media) y SEC11+SEC12 (patentes de farmacia y biotecnología, de intensidad tecnológica alta) son positivos y estadísticamente significativos; por su parte la variable SEC13+SEC15 (patentes de materiales, metalurgia y petróleo, de intensidad tecnológica media) no es relevante.

Todo ello indica que el nivel de intensidad tecnológica del sector aumenta la probabilidad de que se produzcan flujos

ciencia-tecnología, si bien en los sectores de intensidad tecnológica media existe una clara diferencia sectorial (recuérdese que la categoría base es el sector 14: agricultura y química alimentaria, de baja tecnología). Los coeficientes de las variables binarias regionales no son estadísticamente significativos en ningún caso, a excepción del correspondiente a NAVARRA en el modelo de citas NPC.

Aunque Navarra es la región que mayor gasto por habitante en investigación universitaria ha realizado en la última década (un 57% sobre la media), de nuevo estamos ante una evidencia débil que requiere mayor profundización, porque sólo aparece su parámetro significativo en el modelo de citas NPC.



CONCLUSIONES

La determinación objetiva de cómo contribuye la ciencia básica al desarrollo de tecnología industrial, y en última instancia al fomento de la innovación, es especialmente relevante para establecer políticas eficaces que sean capaces de establecer una relación más estrecha entre el ámbito científico y el industrial. La aplicación de una metodología basada en las citas científicas en los documentos de patentes como variable *proxy* de los flujos ciencia-tecnología nos ha ofrecido, con las limitaciones señaladas, una perspectiva útil con datos relevantes que dan respuesta a las cuestiones inicialmente planteadas.

La información examinada revela que la industria española se sustenta en el conocimiento científico para desarrollar innovaciones potenciales en una proporción muy inferior (un tercio) al conocimiento tecnológico derivado de la tecnología patentada por la propia industria. Dentro de lo que podemos considerar conocimiento científico, el uso de la ciencia de calidad se estima en dos tercios del total.

Las relaciones ciencia-tecnología presentan cierto grado de afinidad entre sector tecnológico y campo científico; es decir, en España las relaciones ciencia-tecnología son bastante específicas (el sector de

química orgánica cita fundamentalmente artículos de los campos de Ciencias de la Vida y Física y Química; el sector Productos farmacéuticos cita los campos Ciencias de la Vida y Medicina Clínica, etc.).

En cualquier caso, para el conjunto de todos los sectores, el campo más demandado corresponde a Ciencias de la Vida. La polarización de los flujos ciencia-tecnología está presente en todas las facetas del análisis: se produce una fuerte concentración en muy pocas empresas (el 7% de las que patentan), en un reducido número de sectores tecnológicos relacionados con los procesos químicos y, finalmente, se ha observado que la concentración regional de los flujos ciencia-tecnología se ciñe a unas pocas regiones y supera a la de la propia tecnología.

Si atendemos a las causas explicativas, las estimaciones de los modelos de respuesta binaria sugieren que es más probable que se produzcan flujos ciencia-tecnología cuando existe cooperación empresa-universidad o cuando se desarrolla tecnología de calidad. Las diferencias sectoriales son estadísticamente significativas a favor de los sectores químicos y, dentro de éstos, en los de mayor nivel tecnológico. En algunas estimaciones se obtiene evidencia de efectos regionales de desbordamiento del ámbito científico al ámbito industrial,

es decir, que la probabilidad de que se produzcan flujos ciencia-tecnología es superior en las regiones con mayores gastos por habitante en investigación universitaria; sin embargo, este resultado no se obtiene en todos los modelos, es por tanto una conclusión matizable que requiere mayor investigación (tomar ámbitos más reducidos que los regionales y otros parámetros de medida además del gasto).

Unos flujos ciencia-tecnología con distinta intensidad, según áreas geográficas, confirmaría que, aunque la investigación académica conlleva algunos atributos de bien público (bajo coste de transmisión, reutilizable sin coste), no es un bien libremente disponible (inteligible y aplicable sin coste para el usuario).

La especialización regional no parece desempeñar un papel relevante en la probabilidad de que se produzcan flujos ciencia-tecnología. Este resultado parece indicar que, aunque se ha demostrado empíricamente que a través de la concentración de empresas en un mismo sector (o alguna medida de especialización geográfica) se produce un flujo de conocimiento y aprendizaje, debe interpretarse que se trata de transmisión de un conocimiento tácito útil para el desarrollo de innovaciones, pero no para la transmisión de conocimiento científico.

Estos resultados abren varias líneas de reflexión sobre el diseño de las políticas científicas y tecnológicas nacionales y regionales, sobre todo, aquellas encaminadas a estimular la cooperación entre el ámbito científico y el tecnológico, políticas que favorezcan el desarrollo de la ciencia doméstica en campos científicos relacionados con sectores de cierta especialización regional o políticas de difusión que favorezcan el acceso de los sectores tecnológicos a la ciencia (global, doméstica o no).

En cualquier caso, debe tenerse en cuenta que la interpretación de los flujos ciencia-tecnología efectuada en este trabajo se restringe al conocimiento codificado implícito en los artículos científicos recogidos en las patentes. Deben entenderse, por tanto, como una aproximación —y un punto de vista más— que permita una reflexión profunda sobre el futuro de la política científica y tecnológica en el marco de las nuevas orientaciones que, desde una perspectiva evolucionista y sistémica, interrelacionan las distintas facetas institucionales implicadas en el proceso de innovación.

.....

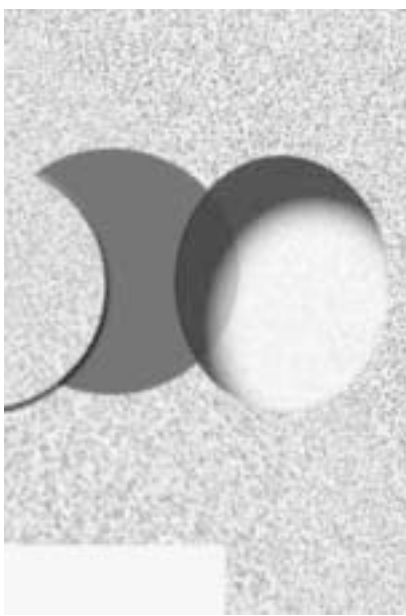
(*) Los autores agradecen la financiación del Ministerio de Ciencia y Tecnología (SEC 2001-3030). Este trabajo es parte de una investigación más amplia, financiada con cargo al mencionado proyecto de investigación.

44

NOTAS

.....

(1) La mayoría de autores coinciden en destacar la obra de Dosi *et al.* (1988) como punto de partida de estas ideas. Las aportaciones de Freeman (1990, 1994) también son sólidas contribuciones a la definición de las características de la innovación. Los trabajos del grupo de economistas daneses de la Universidad de Aalborg, liderado por B. A. Lundvall, sobre la economía en aprendizaje han proporcionado un sólido marco teórico para la explicación de la innovación desde la perspectiva evolucionista; para estos autores la innovación es un proceso de aprendizaje que genera un conocimiento acumulativo y en el que las instituciones desempeñan un papel esencial.



(2) Coombs y Metcalfe (2000) sintetizan los requerimientos para una política efectiva en cuatro grandes elementos sobre los que se debe actuar: receptividad para las oportunidades de innovación, acceso a los recursos para cubrir los programas de innovación, incentivos apropiados para afrontar los costes y capacidades para gestionar con éxito el proceso de innovación.

(3) Una relación de la literatura empírica más relevante figura en el trabajo de Pavitt (1998). Desde un punto de vista más teórico, los trabajos de Martin *et al.* (1996), Lundvall y Borrás (1997) y Salter y Martin (2001) son referencias básicas que precisan con detalle las diferentes formas de interconexión entre ciencia y tecnología.

(4) Para un extenso análisis de las diferencias entre las citas recogidas en una patente y las incorporadas a un artículo científico véase Meyer (2000b).

(5) Es bien conocido que en la patente americana (USPTO) existe una frecuencia de citas más elevada comparada con las europeas (EPO).

(6) En este trabajo se ha optado por una primera aproximación causal en forma de modelo de elección binaria, quedando para un posterior desarrollo la aplicación de modelos de elección discreta conjuntamente con modelos de datos de recuento.

(7) No se ha considerado la posibilidad de que el examinador encuentre referencias previas idénticas para todas las reivindicaciones, porque este hecho ocurre en pocas ocasiones y guarda una muy estrecha relación con la variable IETPAT finalmente considerada.

(8) En este caso hemos recogido el número de patentes en el IET, ignorando el número de citas científicas en dicho informe (muy pocas en

comparación con las anteriores), ya que existe la posibilidad de introducir un problema de endogeneidad en los regresores.

(9) Véanse detalles en Greene (1999), página 750 y sigs.

(10) La naturaleza de este trabajo, el análisis de las relaciones ciencia-tecnología, recomienda hacer uso únicamente de las patentes solicitadas por empresas privadas o en colaboración entre éstas y universidades o centros de investigación; se excluyen por tanto las presentadas por dichos organismos públicos. El hecho de que una empresa solicite una patente indica que esa empresa dispone de «competencias tecnológicas» en el sector industrial en cuestión (Breschi, 2003); es decir, se le presupone una habilidad para transformar oportunidades tecnológicas en actividad o conocimiento dirigido a la producción industrial (Carlsson y Eliasson, 1994).

(11) La revisión de las patentes concluyó el 30 de noviembre de 2002 (patentes publicadas hasta la fecha), por lo que, teniendo en cuenta el desfase temporal con el que según la normativa española se publican las patentes, es de esperar que todavía queden documentos por publicar de los últimos años de referencia.

(12) En la mayor parte de los estudios con NPCs se utilizan las referencias de los examinadores, que son las que aparecen en la página frontal de la patente USPTO. Los resultados a nivel agregado del estudio de Narin y Olivastro (1998) revelan que aproximadamente la mitad de las citas del texto completo están también listadas en la página frontal (patentes USPTO, solicitadas en EEUU); en consecuencia, para estos autores es razonable utilizar esta fuente de datos de citas en lugar del texto completo. Esta forma de proceder se realiza por las dificultades técnicas para computar las NPCs contenidas en el texto completo y realizadas por los solicitantes. Sin embargo, como ya han señalado varios autores, esta práctica subestima la contribución de la ciencia próxima a la tecnología patentada (Tijssen *et al.*, 2000), ya que los examinadores recogen sobre todo patentes y acuden a las referencias científicas generalmente cuando no encuentran patentes relacionadas con la invención. En el caso de la patente doméstica española, los examinadores recogen en el Informe sobre el Estado de la Técnica fundamentalmente referencias de patentes, y son muy pocas las referencias científicas, que, además, en algunos casos, están duplicadas porque han sido recogidas por el propio solicitante.

(13) Esta clasificación ha sido elaborada conjuntamente por la FhG-ISI, la Oficina Francesa de Patentes (INPI) y el Observatoire de Sciences and des Techniques (OST).

(14) Como es bien conocido, la mayor parte de las revistas cubiertas por el ISI corresponden a publicaciones periódicas en inglés (la versión

manejada de enero de 2002 cubre un total de 8.455 revistas). Aunque no representan la totalidad de la investigación científica, en estas revistas se publica investigación científica de calidad, especialmente investigación académica. Otro tipo de referencias se han excluido, por la dificultad de clasificarlas a través de un procedimiento objetivo y generalmente aceptado. (15) Los datos internacionales están tomados de Michel y Bettels (2001) y se refieren a la media de la última década. En cualquier caso, las comparaciones internacionales que hacen referencia a las patentes domésticas son sólo orientadoras, porque los mecanismos legales y administrativos que rigen cada oficina de patentes son diferentes.

BIBLIOGRAFÍA

- ADAMS, J. (1990): «Fundamental stocks of knowledge and productivity growth», *Journal of Political Economy*, 98, pp. 673-702.
- ANSELIN, L.; VARGA, A. y ACS, Z. J. (1997): «Local geographic spillovers between university research and high technology innovations», *Journal of Urban Economics*, 42, pp. 422-448.
- ANSELIN, L.; VARGA, A. y ACS, Z. J. (2000): «Geographic and sectoral characteristics of academic knowledge externalities», *Papers of Regional Science*, 79, 435-443.
- BEISE, M. y STAHL, H. (1999): «Public research and industrial innovation in Germany», *Research Policy*, 28, pp. 397-422.
- BELL, M. y PAVITT, K. (1993): «Technological accumulation and industrial growth: contrasts between developed and developing countries», *Industrial and Corporate Change*, 2 (2), pp. 56-60.
- BERGMAN, E. M. (1990): «The economic impact of industry-funded university R&D», *Research Policy*, 19, pp. 197-422.
- BRACZYK, H. J.; COOKE, P. y HEIDENREICH, M. (1998): *Regional Innovation Systems. The role of governance in a globalized world*, UCL Press, Londres.
- BRESCHI, S.; LISSONI, F. y MALERBA, F. (2003): «Knowledge-relatedness in firm technological diversification», *Research Policy*, 32, pp. 69-87.
- CARLSSON, B. y ELIASSON, G. (1994): «The nature and importance of economic competence», *Industrial and Corporate Change*, 3 (3), pp. 687-711.
- CARPENTER, M. P.; COOPER, M. y NARIN, F. (1980): «Linkage between basic research and patents», *Research Management*, 23, pp. 30-35.
- CARPENTER, M. P. y NARIN, F. (1983): «Validation study: patent citations as indicators of science and foreign dependence», *World Patent Information*, 5, pp. 180-185.
- COLLINS, P. y WYATT, S. (1988): «Citations in patents to the basic research literature», *Research Policy*, 17, pp. 65-77.
- COOKE, P.; BOEKHOLT, P. y TÖDLING, F. (1998): Regional innovation systems: The signing for the future. Final Report to the European Commission, DGXII. Center for Advanced Studies in Social Sciences, Cardiff.
- COOMBS, R. y METCALFE, J. S. (2000): Universities, the Science Base and the Innovation Performance of the UK. Centre for Research on Innovation and Competition (CRIC), Briefing Paper nº 5.
- COZZENS, S.; HEALEY, P.; RIP, A. y ZIMAN, J. (eds.) (1990): *The Research Systems in Transition*, Kluwer Academic Publisher, Boston.
- DOSI, G.; FREEMAN, C.; NELSON, R.; SILVERBERG, G. y SOETE, L. (eds.) (1988): *Technical change and economic theory*, Ed. Pinter, Londres.
- ETZKOWITZ, H. y LEYDESDORFF, L. (eds.) (1997): *Universities in the Global Economy: A Triple Helix of University-Industry-Government relations*, Cassell Academic, Londres.
- ETZKOWITZ, H. y LEYDESDORFF, L. (2000): «The dynamics of innovation: from National Systems and Mode 2 to a Triple Helix of university-industry-government relations», *Research Policy*, 29, pp. 109-123.
- FREEMAN, C. (ed.) (1990): *The economics of innovation*, Elgar, Londres.
- FREEMAN, C. (1994): «The economics of technical change: critical survey», *Cambridge Journal of Economics*, 18.
- GODIN, B. (1996): «Research and the practice of publication in industries», *Research Policy*, 25, 587-606.
- GREENE, W. H. (1999): *Análisis econométrico*, Prentice Hall, Madrid.
- GRUPP, H. y SCHMOCH, U. (1992): «Perception of scientification as measured by referencing between patents and papers», H. Grupp (ed.), *Dynamics of Science-Based Innovation*, Springer-Verlag, Berlin/Heidelberg/Nueva York, pp. 73-128.
- HALL, B.; JAFFE, A. y TRAJTENBERG, M. (2000): *Market value and patent citations: a first look*, NBER Working Paper 7741.
- HICKS, D. y KATZ, J. S. (1997): *The British Industrial Research System*, SPRU Working Paper, University of Sussex, Brighton.
- IVERSEN, E. J. (1999): *A patent share and citation analysis of knowledge bases and interactions in the Norwegian innovation system*, STEP Working Paper A-07, Oslo.
- JAFFE, A.; FOGARTY, M. y BANKS (1998): «Evidence from patents and patent citations on the impact of NASA and other labs on commercial innovations», *Journal of Industrial Economics*, 46 (2).
- JAFFE, A.; HENDERSON, R. y TRAJTENBERG, M. (1993): «Geographic Localization of Knowledge Spillovers as Evidenced by Patent Citations», *Quarterly Journal of Economics*, 108, pp. 577-598.
- JAFFE, A. y TRAJTENBERG, M. (1996): *Flows of knowledge from Universities and Federal Labs: modeling the flow of patent citations over time and across institutional and geographic boundaries*, NBER Working Paper nº 5712.
- KLEVORICK, A. K.; LEVIN, R.; NELSON, R. y WINTER, S. (1995): «On the sources and significance of inter-industry differences in technological opportunities», *Research Policy*, 24, pp. 342-349.
- LEYDESDORFF, L. (2000): «The Triple Helix: an evolutionary model of innovation», *Research Policy*, 29, pp. 243-255.
- LUCAS, R. (1988): «On the mechanics of economic development», *Journal of Monetary Economics*, 22, pp. 3-42.
- LUNDVALL, B. A. (ed.) (1992): *National Systems of Innovation: Towards a theory of innovation and interactive learning*, Pinter, Londres.
- LUNDVALL, B. A. y BORRÁS, S. (1997): *The globalising learning economy: implications for innovation policy. Targeted Socio-Economic Research (TSER) program*, Comisión Europea (DG XII).
- LUNDVALL, B. A. y JOHNSON, B. (1994): «The learning economy», *Journal of Industrial Studies*, 1 (2), pp. 23-42.
- McMILLAN, G. S.; NARIN, F. y DEEDS, D. L. (2000): «An analysis of the critical role of public science in innovation: The case of biotechnology», *Research Policy*, 29, pp. 1-8.
- MALECKI, E. J. (1997): *Technology and Economic Development. The dynamics of local, regional and national competitiveness*, Ed. Longman.
- MANSFIELD, E. (1991): «Academic research and innovation», *Research Policy*, 20, pp. 1-12.
- MANSFIELD, E. (1998): «Academic research and industrial innovation: an update of empirical findings», *Research Policy*, 26, pp. 773-776.
- MANSFIELD, E. y LEE, J. Y. (1996): «The modern university: contributor to industrial innovation and recipient of industrial R&D support», *Research Policy*, 25, pp. 1047-1058.
- MARKUSEN, A. R.; HALL, P. y GLASMEIER, A. (1986): *High Tech America: the what, how, where and why of the sunrise industries*, Allen and Unwin, Boston.
- MARTIN, B.; SALTER, A.; HICKS, D.; PAVITT, K.; SENKER, J.; SHARP, M. y VON TUNZELMANN, N. (1996): *The relationship between publicly funded basic research and economic performance: a SPRU review*, HM Treasury, Londres.
- MARTIN, F. (1998): «The economic impact of Canadian University R&D», *Research Policy*, 27, pp. 677-687.
- MEYER, M. (2000a): «Does science push technology? Patents citing scientific literature», *Research Policy*, 29, pp. 409-434.

- MEYER, M. (2000b): «What is special about patent citations? Differences between scientific and patent citations», *Scientometrics*, 49 (1), pp. 93-123.
- MEYER, M. (2000c): «Patent citations in a novel field of technology. What can they tell about interactions between emerging communities of science and technology?», *Scientometrics*, 48 (2), pp. 151-178.
- MEYER, M. (2002): «Tracing knowledge flows in innovation systems», *Scientometrics*, 54 (2), pp. 193-212.
- MEYER-KRAHMER, F. y SCHMOCH, U. (1998): «Science-based technologies: university-industry interactions in four fields», *Research Policy*, 27, pp. 835-851.
- MICHEL, J. y BETTELS, B. (2001): «Patent citation analysis: A closer look at the basic input data from patent search reports», *Scientometrics*, 51 (1), pp. 185-201.
- NARIN, F. y NOMA, E. (1985): «Is technology becoming science?», *Scientometrics*, 7, pp. 369-381.
- NARIN, F. y OLIVASTRO, D. (1992): «Status report: linkage between technology and science», *Research Policy*, 21, pp. 237-249.
- NARIN, F. y OLIVASTRO, D. (1998): «Linkage between patents and papers: an interim EPO/US comparison», *Scientometrics*, 41, pp. 51-59.
- NARIN, F.; HAMILTON, K. S. y OLIVASTRO, D. (1995): «Linkage between agency supported research and patented industrial technology», *Research Policy*, 5, pp. 183-187.
- NARIN, F.; HAMILTON, K. S. y OLIVASTRO, D. (1997): «The increasing linkage between US technology and public science», *Research Policy*, 26, pp. 317-330.
- NELSON, R. (ed.) (1993): *National Innovation Systems: A comparative analysis*, Oxford University Press, Oxford.
- NELSON, R. R. y WINTER, S. (1982): *An evolutionary theory of economic change*, Harvard University Press, Cambridge.
- NOYONS, E. C. M.; VAN RAAN, A. F. J.; GRUPP, H. y SCHMOCH, U. (1994): «Exploring the science and technology interface: inventor-author relations in laser medicine research» *Research Policy*, 23, pp. 443-457.
- PAVIT, K. (1998): «The social shaping of the national science base», *Research Policy*, 27, pp. 793-805.
- ROMER, P. (1990): «Endogenous technological change», *Journal of Political Economy*, 98 (5), S71-S102.
- ROMER, P. (1994): «The origins of endogenous growth», *Journal of Economic Perspectives*, 8 (1), pp. 3-22.
- SALTER, A. J. y MARTIN, B. R. (2001): «The economic benefits of publicly funded basic research: a critical review», *Research Policy*, 30, pp. 209-532.
- SAXENIAN, A. (1994): *Regional advantage: culture and competition in Silicon Valley and Route 128*, Harvard University Press, Cambridge.
- SCHMOCH, U. (1993): «Tracing the knowledge transfer from science to technology as reflected in patent indicators», *Scientometrics*, 26 (1), pp. 193-211.
- SCHMOCH, U. (1997): «Indicators and the relations between science and technology», *Scientometrics*, 38, pp. 103-106.
- SCHARTINGER, D.; RAMMER, C.; FISCHER, M. M. y FRÖHLICH, J. (2002): «Knowledge interactions between universities and industry in Austria: sectoral patterns and determinants», *Research Policy*, 31, pp. 303-328.
- STERNBERG, R. y TAMÁSY, C. (1999): «Munich in Germany's N° 1 high technology region: empirical evidence, theoretical explanations and the role of small firm/large firm relationships», *Regional Studies*, vol. 33, n° 4, pp. 367-377.
- TIJJSSEN, R. J. W. (2001): «Global and domestic utilization of industrial relevant science: patent citation analysis of science-technology interactions and knowledge flows», *Research Policy*, 30, pp. 35-54.
- TIJJSSEN, R. J. W. (2002): «Science dependence of technologies: evidence from inventions and their inventors», *Research Policy*, 31, pp. 509-526.
- TIJJSSEN, R. J. W.; BUTER, R. K. y VAN LEEUWEN, T. N. (2000): «Technological relevance of science: An assessment of citation linkages between patents and research papers», *Scientometrics*, 47 (2), pp. 389-412.
- VAN VIANEN, B. G.; MOED, H. F. y VAN RAAN, A. F. J. (1990): «An exploration of the science base of recent technology», *Research Policy*, 19, pp. 61-81.
- VARGA, A. (1998): *University research and regional innovation: A spatial econometric analysis of academic technology transfers*, Kluwer Academic Publishers, Dordrecht.
- VERBEEK, A.; DEBACKERE, K.; LUWEL, M.; ANDRES, P.; ZIMMERMANN, E. y DELEUS, F. (2002): «Linking science to technology: using bibliographic reference in patents to build linkage schemes», *Scientometrics*, 54 (3), pp. 339-420.
- WEBER, E. y STAM, E. (1999): «Cluster of High Technology SMEs: The Dutch Case», *Regional Studies*, vol. 33, n° 4, pp. 391-400.
- ZIMAN, J. (1994): *Prometheus Bound: Science in a Dynamic Steady State*, Cambridge University Press, Cambridge.