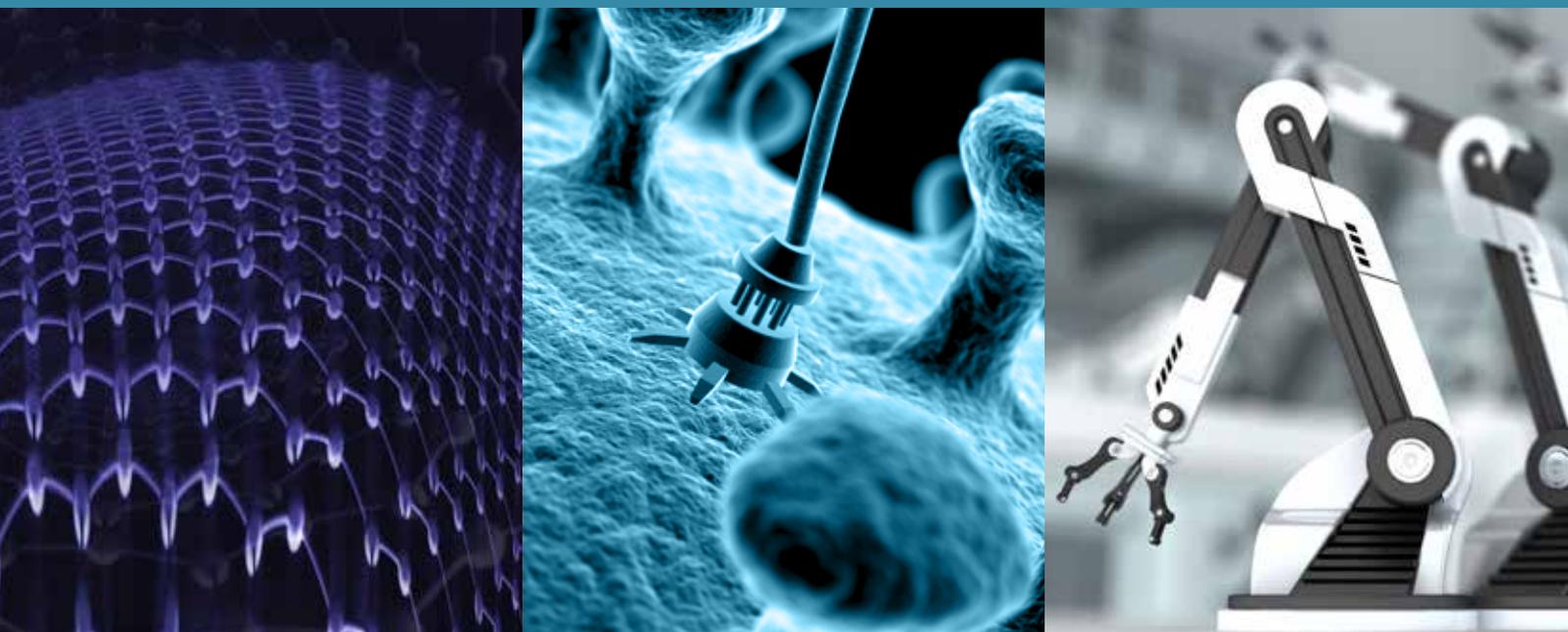


Informe Mundial sobre la Propiedad Intelectual en 2015:

La innovación revolucionaria y el crecimiento económico

Serie sobre Economía y Estadística



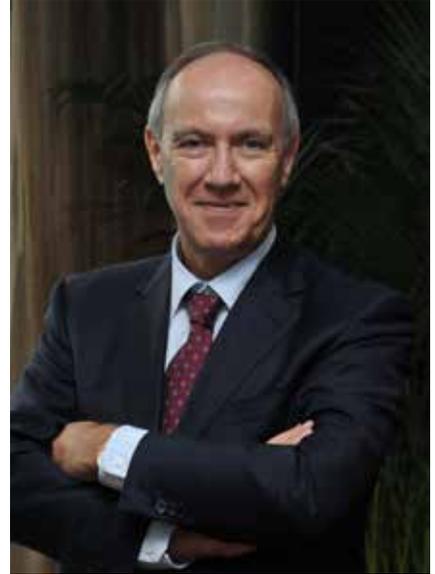
2015

Informe Mundial sobre la Propiedad Intelectual en 2015:

La innovación revolucionaria
y el crecimiento económico

Serie sobre Economía y Estadística

2015



Prólogo

Las políticas que estimulan el crecimiento económico son imprescindibles para los gobiernos de todo el mundo. El crecimiento sostenido mejora el nivel de vida, crea nuevas oportunidades de empleo y ayuda a aliviar la pobreza. Si bien no es una panacea, el crecimiento económico —si se canaliza adecuadamente— puede contribuir a la estabilidad, la seguridad, la salud y la sostenibilidad ambiental.

¿Pero puede darse por sentado que ese crecimiento va a continuar? Cada vez más expertos se plantean esa pregunta, y con buenos motivos. En el período posterior a la Segunda Guerra Mundial se produjo el crecimiento global más rápido de la historia. Sin embargo, desde la crisis financiera mundial de 2008, el crecimiento económico ha decepcionado año tras año. ¿Es prudente suponer que con el tiempo volveremos a un crecimiento más rápido, o habrá que aceptar un crecimiento lento como nuevo paradigma?

La respuesta depende en parte de hasta qué punto la innovación continúe siendo el motor del crecimiento. Históricamente, las grandes innovaciones tecnológicas han dado lugar a expansiones económicas de larga duración. Esos avances cambiaron la manera de producir. Lo que en el pasado fueron sociedades agrarias son ahora economías basadas en la industria y los servicios, impulsadas por tecnologías que resultaban inimaginables hace tres siglos. En muchos sentidos, la innovación en el siglo XXI está prosperando como nunca antes, y desconocemos cuánto vigorizará el crecimiento futuro la innovación actual.

La propiedad intelectual (P.I.) constituye un elemento esencial del nexo innovación-crecimiento. Se ha escrito mucho acerca de la importancia que tiene para el crecimiento económico proteger la P.I. Sin embargo, los canales precisos a través de los que la P.I. afecta al crecimiento son complejos y varían en función de las tecnologías y las diferentes formas de P.I. Para profundizar acerca de esos mecanismos, el Informe Mundial sobre la Propiedad Intelectual 2015 se centra en la innovación revolucionaria y el crecimiento económico.

Al igual que nuestros informes anteriores, el Informe Mundial sobre la Propiedad Intelectual 2015 tiene como objetivo explicar y aclarar la función del sistema de P.I. en las economías de mercado. El informe comienza por revisar los patrones de crecimiento económico a lo largo de la historia y explorar las diferentes formas en que la innovación afecta el crecimiento. Al hacerlo, examina cómo los diversos tipos de P.I. influyen en la innovación y la difusión de la tecnología.

El informe de este año introduce como novedad una serie de estudios de caso que exploran los vínculos concretos entre la innovación, la P.I. y el crecimiento en seis áreas de innovación revolucionaria. Tres estudios de caso se centran en innovaciones históricas: los aviones, los antibióticos y los semiconductores. Los otros tres examinan innovaciones actuales que podrían resultar revolucionarias: la impresión en 3D, la nanotecnología y la robótica. Los seis estudios de caso siguen un esquema común, en el que primero se estudia el origen de la innovación y su contribución al crecimiento, luego el ecosistema que dio lugar a la innovación y, finalmente, el papel del sistema de P.I. en ese ecosistema.

El informe también examina las perspectivas de crecimiento futuro basado en la innovación. Sin que su objetivo sea predecir el futuro, revisa los diversos argumentos en que se fundamentan las visiones más optimistas y las más pesimistas. Independientemente de las previsiones de crecimiento actuales, el informe hace hincapié en que sigue siendo de vital importancia que los gobiernos y las empresas continúen invirtiendo en innovación. Para que los esfuerzos innovadores den fruto, ya sea a nivel de la empresa o de la economía en su conjunto, se requiere perseverancia, sobre todo en períodos de bajo crecimiento en los que las partidas dedicadas a innovación se ven amenazadas.

La innovación revolucionaria y el crecimiento económico son realidades complejas, y este informe no pretende abordar todas sus facetas. Por ejemplo, el informe no trata pormenorizadamente las consecuencias del crecimiento impulsado por la innovación en materia de redistribución del empleo y los ingresos. Igualmente, al describir de qué manera se han difundido las diferentes innovaciones a las economías en desarrollo, el informe únicamente examina qué podría explicar esos patrones de difusión; de hecho, los economistas todavía no han podido dilucidar por qué algunas economías en desarrollo han logrado niveles tecnológicos más elevados que otras.

Esperamos que este informe proporcione una perspectiva actualizada sobre uno de los desafíos más importantes a los que se enfrentan los líderes encargados de la formulación de políticas hoy en día, y que sirva de fundamento para las deliberaciones entre los Estados miembros al decidir cuál es el mejor método para que el sistema de P.I. contribuya al crecimiento impulsado por la innovación en todos los países.

Francis GURRY
Director General



Agradecimientos

Este informe se elaboró bajo la dirección de Francis Gurry (Director General). El equipo encargado de su preparación y coordinación estuvo liderado por Carsten Fink (Economista Jefe) y contó con la colaboración de Intan Hamdan-Livramento (Economista), Julio Raffo (Economista Principal) y Sacha Wunsch-Vincent (Economista Principal), todos ellos pertenecientes a la División de Economía y Estadística de la OMPI.

Durante el período en que formaron parte de la División, Antanina Garanasvili realizó valiosos aportes de asistencia a la investigación y Francesca Guadagno contribuyó redactando parte de los capítulos 2 y 3.

Los estudios de caso de los capítulos 2 y 3 se elaboraron a partir de investigaciones de antecedentes comisionadas expresamente para este informe. En particular, el estudio de caso sobre aviones se basa en los informes preparados por David Mowery (University of California, Berkeley) y Lutz Budrass (Ruhr-Universität Bochum). Los comentarios escritos fueron proporcionados por Jochen Streb, y Pedro Meyer aportó comentarios adicionales.

Bhaven Sampat (Columbia University) se encargó del informe de antecedentes que se utilizó para el estudio de caso sobre antibióticos. Luigi Orsenigo preparó los comentarios escritos sobre dicho informe.

El estudio de caso sobre semiconductores se basa en el informe de antecedentes preparado por Thomas Hoeren (Universität Münster). Richard Burt aportó comentarios escritos, y los datos fueron suministrados por *World Semiconductor Trade Statistics*.

El estudio de caso sobre impresión en 3D utiliza como base el informe elaborado por Stefan Bechtold (ETH Zürich). Deven Desai aportó comentarios escritos y Nicola Searle, comentarios adicionales.

La autora del informe utilizado para elaborar el estudio de caso sobre nanotecnología es Lisa Ouellette (*Stanford University*). Stéphane Lhuillery formuló comentarios escritos sobre dicho informe.

El estudio de caso sobre robótica recurre al informe que preparó C. Andrew Keisner (Davis & Gilbert LLP). Roland Siegwart aportó comentarios por escrito, y Mirko Boehm y Remy Glaisner formularon comentarios adicionales. La Federación Internacional de Robótica y Frank Tobe, de Robot Report, proporcionaron los datos.

Richard Corken, Christopher Harrison y Marian Lilington, de la Oficina de Propiedad Intelectual del Reino Unido, realizaron varios aportes y sugerencias sobre el análisis de patentes de cara a los estudios de caso. Gabriel Berlicki, Gabriele Pellegrino, Antoine Schoen y Bureau van Dijk también contribuyeron en esa esfera.

El equipo encargado de la elaboración del informe contó con la inestimable colaboración de Tony Clayton y Ugo Panizza, que realizaron la revisión externa de los borradores de los capítulos. Gabriel Clerc, Diego Comin, Paul David, Marcus Höpperger, Paolo Lanteri, Moshe Leimberg, Lutz Mailänder, Maxim Pinkovskiy, Julien Penin, Edward Steinmueller, Víctor Vázquez y Jayashree Watal proporcionaron aportes, comentarios y datos adicionales.

Samiah Do Carmo Figueiredo y Caterina Valles Galmès aportaron un valioso apoyo administrativo.

Por último, deseo expresar nuestro agradecimiento a los compañeros de la División de Comunicaciones por hacerse cargo de la edición del informe, en especial a Toby Boyd por sus aportes en las labores de corrección y a Stephen Mettler, por el diseño del informe. A lo largo de todo el proceso de elaboración del informe, el apoyo de la Biblioteca de la OMPI en las labores de investigación resultó muy útil. La Imprenta proporcionó unos servicios de impresión de alta calidad. Todos ellos trabajaron arduamente para cumplir plazos sumamente apretados.

Descargo de Responsabilidad

El presente informe y todas las opiniones que en él se reflejan incumben exclusivamente a la Secretaría de la OMPI. No aspiran a reflejar la opinión ni el punto de vista de los Estados miembros de la OMPI. Los autores principales del presente informe también desean exonerar de toda responsabilidad por cualesquiera errores u omisiones a todos aquellos que han contribuido al informe o formulado comentarios acerca del mismo.

Los lectores pueden hacer uso de la información suministrada en el presente informe, a condición de que la OMPI sea citada como fuente.

Resumen

El crecimiento económico ha constituido una poderosa fuente de reducción de la pobreza, creación de empleo y mejora del nivel de vida en general. Sin embargo, es un fenómeno contingente. Antes del siglo XVIII, el crecimiento de la economía mundial fue menor. La pobreza era generalizada y resultaba impensable que el nivel de vida de las clases no privilegiadas pudiese mejorar sustancialmente. Desde entonces, la economía mundial ha crecido a un ritmo sin precedentes, y esto ha dado lugar a mejoras en la calidad de vida y a una prosperidad material generalizada. Aun así, algunas economías nacionales han experimentado un crecimiento más rápido y sostenido que otras, lo que ha provocado que en la actualidad existan grandes disparidades en el grado de prosperidad de los países.

Una idea fundamental extraída de la investigación académica es que el crecimiento económico duradero se basa en un progreso tecnológico continuo. De hecho, en los últimos tres siglos hemos sido testigos de una serie de innovaciones revolucionarias en diferentes campos de la tecnología que han transformado profundamente la actividad productiva y estimulado el crecimiento de nuevas industrias. ¿Qué dio lugar a esas innovaciones revolucionarias y cómo contribuyeron a la expansión económica? Habida cuenta del interés permanente de los responsables de la formulación de políticas en cultivar un entorno que favorezca el crecimiento económico futuro, las respuestas a estas cuestiones son importantes. De hecho, en vista de que la economía mundial lleva unos siete años tratando de recuperarse de la crisis financiera mundial, algunos cuestionan si podemos confiar en que la innovación siga generando tasas de crecimiento similares a las anteriores a la crisis.

Esta publicación trata de proporcionar un enfoque analítico que informe ese debate. Explora cómo la innovación impulsa el crecimiento y cuáles son las características de los ecosistemas que la hacen florecer. Para ello, el informe presta especial atención a la función del sistema de propiedad intelectual (P.I.), pues uno de sus principales objetivos es favorecer la actividad innovadora.

Además de revisar las tendencias históricas de crecimiento y conceptualizar los vínculos entre la innovación y el crecimiento, la principal contribución analítica del informe son seis estudios de caso sobre innovaciones revolucionarias. En concreto, se centra en tres innovaciones históricas y tres innovaciones actuales que podrían ser revolucionarias (véase el cuadro 1). Los estudios de caso permiten tener en cuenta las diferentes tipologías de los avances innovadores y el contexto cambiante en el que tiene lugar la innovación. Además, a pesar de que muchas conclusiones son específicas a estos casos y quizás no resulten generalizables, las similitudes y diferencias que presentan los casos ofrecen elementos de reflexión para examinar qué clases de políticas funcionan mejor en circunstancias alternativas.

Cuadro 1: Innovaciones revolucionarias analizadas en este informe

Innovaciones históricas	Innovaciones actuales
<i>Aviones</i> – desde los planeadores de recreo del siglo XIX a la aviación como medio de transporte fiable en la primera mitad del siglo XX	<i>Impresión en 3D</i> – la creación de objetos tridimensionales mediante la aplicación sucesiva de capas de material, asistida por tecnologías digitales
<i>Antibióticos</i> – desde el descubrimiento de las sulfamidas en la década de 1930 hasta el nacimiento de la industria farmacéutica moderna	<i>Nanotecnología</i> – tecnología a escala de una mil millonésima parte de un metro, con aplicaciones en la electrónica, la salud, los materiales y otros campos
<i>Semiconductores</i> – desde la amplificación de ondas de radio para mejorar las comunicaciones a comienzos del siglo XX hasta su integración en microprocesadores informáticos cada vez más potentes, base de la revolución de las TIC	<i>Robótica</i> – desde los primeros robots que estimularon la automatización industrial a las máquinas autónomas actuales, dotadas de inteligencia artificial

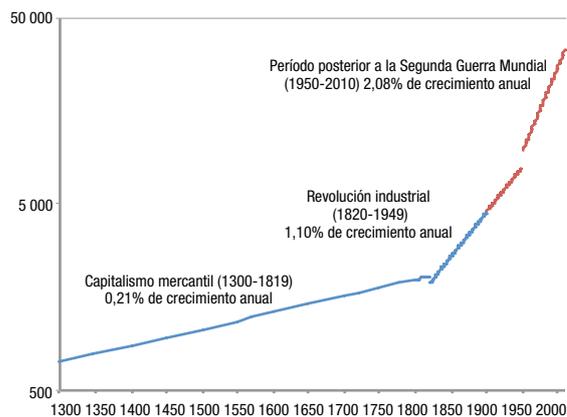
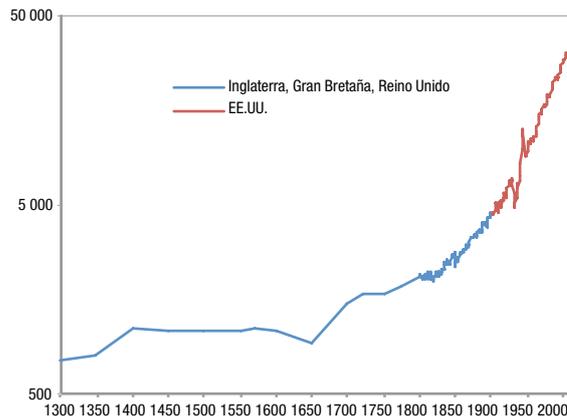
Crecimiento Económico a lo Largo de la Historia

El crecimiento de las economías más avanzadas despegó en el siglo XIX y se aceleró tras la Segunda Guerra Mundial

Basándose en el conjunto más completo de estimaciones históricas disponibles, la figura 1 muestra la evolución del PIB per cápita en las economías más avanzadas desde 1300. Se refiere aquí a las economías que presentan un PIB per cápita más alto en cada período. A efectos de la figura 1, estas economías son Inglaterra, Gran Bretaña y el Reino Unido hasta 1900, y los Estados Unidos (EE.UU.) a partir de entonces.

Figura 1: Crecimiento de las economías más avanzadas a lo largo de siete siglos

PIB real per cápita, 1300-2000, escala logarítmica



Véase la figura 1.1

En la figura inferior, los siete siglos aparecen divididos en tres períodos de crecimiento. El primer período, que abarca hasta comienzos del siglo XIX, se caracteriza por un crecimiento lento y esporádico de un 0,2% de promedio anual. Con la revolución industrial, la tasa de crecimiento anual experimentó un marcado aumento, hasta situarse en el 1,1%. Por último, tras la Segunda Guerra Mundial, el crecimiento se incrementó hasta el 2,1%, lo que supone una duplicación del PIB per cápita cada 34 años. A la luz de los datos recabados durante varios siglos, el crecimiento al que hemos asistido desde la década de 1950 resulta a la vez espectacular y excepcional.

La disparidad en los patrones de crecimiento ha acrecentado la brecha existente entre países ricos y pobres...

Fuera del grupo de las economías más avanzadas, el crecimiento ha sido desigual. Mientras que algunas economías otrora pobres —en particular de Asia Oriental— han logrado alcanzar a este grupo, no se ha dado un proceso generalizado de convergencia de los ingresos per cápita. Como resultado, la desigualdad en la prosperidad de las naciones se ha ampliado desde el siglo XIX.

...aun si el rápido crecimiento de China y la India ha representado una fuerza igualadora en la distribución del PIB mundial y ha hecho disminuir la pobreza en términos absolutos

El incremento de la desigualdad de ingresos entre países no implica necesariamente que el mundo se haya convertido en un lugar más desigual. La distribución de ingresos entre los ciudadanos del mundo —que tiene en cuenta el volumen de población de los diferentes países y las desigualdades de ingresos dentro de cada país— ofrece un escenario más optimista. Los resultados de varios estudios sobre las últimas décadas muestran que el rápido alejamiento de la pobreza de países asiáticos muy poblados, sobre todo China y la India, ha representado una fuerza igualadora en la distribución de los ingresos a nivel mundial. Además, al utilizar umbrales de pobreza diferentes, el conjunto de estos estudios prueba que la pobreza ha disminuido en términos absolutos.

Cómo Contribuye la Innovación al Crecimiento Económico

Décadas de investigación académica en el campo de la economía demuestran que la innovación desempeña un papel fundamental en la generación de crecimiento sostenido. No obstante, cuantificar esa contribución —cuánto crecimiento es atribuible a cada innovación en cada período de tiempo— es complicado. La infografía que figura al final de este informe muestra algunas de las innovaciones revolucionarias más destacadas de los últimos 200 años superpuestas al patrón de crecimiento de las economías más avanzadas que aparece en la figura 1. Se presenta a título ilustrativo, y la selección de las tecnologías es subjetiva.

A pesar de las dificultades de cuantificación, los mecanismos que permiten a la innovación generar crecimiento son bien conocidos conceptualmente.

La innovación impulsa la intensificación del capital...

Las empresas invierten en nuevos bienes de capital en base a los ingresos futuros que esperan generar con esas inversiones. La introducción de nuevas tecnologías puede elevar los retornos de inversión y alentar a las empresas a realizar nuevas inversiones. Históricamente, la introducción de tecnologías revolucionarias a menudo ha desencadenado grandes aumentos de la inversión, dando lugar a una expansión de la producción.

El estudio de caso sobre los semiconductores, por ejemplo, evalúa algunos resultados que indican que a medida que comenzó el auge de las TIC en la década de 1990, las empresas estadounidenses aumentaron rápidamente las partidas destinadas a las TIC, especialmente en comparación con otros activos de capital fijo. Además, las inversiones en activos intangibles —el establecimiento de nuevos procesos de negocios, bases de datos y otras actividades basadas en el conocimiento— han pasado a representar una parte sustancial de las inversiones totales, y también están vinculadas a la introducción de nuevas tecnologías.

...propicia una ampliación de la fuerza de trabajo, y contribuye a la mejora de su salud y nivel formativo...

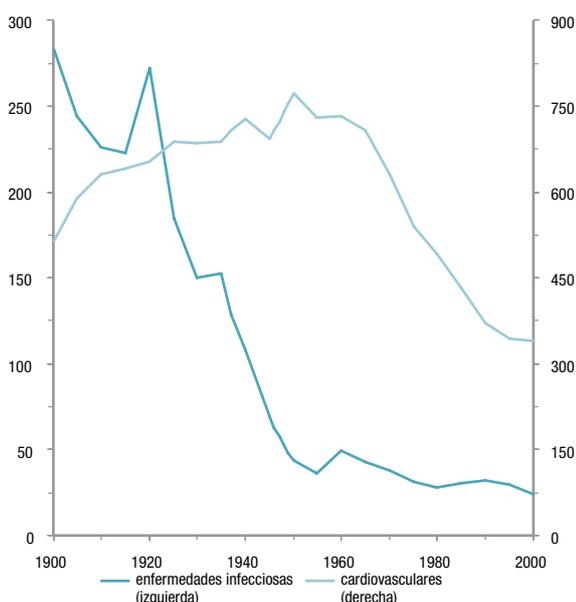
Históricamente, la innovación ha sido un motor de expansión de la fuerza de trabajo. Los avances en la tecnología de la salud han llevado a un dramático aumento de la esperanza de vida. En 1800, la esperanza media de vida al nacer era de menos de 40 años en todas las economías desarrolladas; en 2011, se había elevado por encima de los 75 años, llegando a alcanzar los 83 en el Japón. La figura 2 —extraída del estudio de caso sobre los antibióticos— ilustra la drástica reducción de la mortalidad desde la aparición de los primeros medicamentos antibióticos en la década de 1930.

La innovación también ha desempeñado un papel fundamental a la hora de permitir que más adultos integren la fuerza de trabajo. Por ejemplo, uno de los factores que ha reducido las barreras geográficas para acceder al mercado de trabajo ha sido la aparición de medios de transporte de masas rápidos. Lo mismo ha sucedido con el acceso a la educación. Los avances tecnológicos en este campo han permitido que más personas tengan acceso a contenidos educativos y

puedan profundizar en su formación, lo cual repercute positivamente en el nivel de capacitación de la fuerza de trabajo.

Figura 2: Los antibióticos han tenido profundas repercusiones en la salud humana

Mortalidad debida a enfermedades infecciosas y cardiovasculares, fallecimientos por 100.000 habitantes, 1900-2000



Véase la figura 2.4

...aumenta la productividad de las empresas...

La innovación puede afectar a la productividad de las empresas de varias maneras. Las *innovaciones organizativas y de procesos* pueden aumentar la eficiencia con que los insumos —sobre todo el trabajo— generan productos y servicios. Las mejoras de la productividad resultantes liberan recursos que pueden utilizarse para expandir la producción, ya sea dentro de la propia compañía, en el mismo sector o en cualquier otro lugar de la economía.

La *innovación de productos* también puede afectar sustancialmente a la productividad de las empresas, especialmente si adopta la forma de potentes insumos intermedios novedosos o mejorados. Los estudios de caso que incluye este informe proporcionan numerosos ejemplos de productos y servicios radicalmente nuevos que han transformado la actividad productiva, por ejemplo el transporte aéreo, las computadoras, los robots industriales y las impresoras 3D.

...y transforma la estructuras económicas

Con frecuencia, la innovación da lugar a transformaciones estructurales profundas. En el medio y largo plazo, ese tipo de transformaciones afectan a la productividad económica de varias maneras:

- La innovación puede llegar a transformar industrias enteras, y provocar la salida de unas empresas y la entrada de otras. En muchos casos, estos cambios dan lugar a mejoras en la eficiencia y a redistribuciones de los factores de producción que favorecen el crecimiento.
- Las innovaciones revolucionarias suelen provocar una reorganización de las cadenas de suministro, y hacen que las empresas desarrollen competencias técnicas únicas y se especialicen en la producción de bienes y servicios destinados a una variedad de compañías, tanto dentro de una misma industria como transversalmente, en una variedad de sectores.
- A medida que la innovación tecnológica genera una nueva actividad económica, propicia también el declive de las actividades anteriores. A corto y medio plazo, esas perturbaciones provocadas por la tecnología pueden ocasionar penurias para los trabajadores que han pasado a ser redundantes. Sin embargo, a largo plazo, la reorientación de esas personas hacia sectores económicos en expansión constituye una de las vías más importantes de generación de crecimiento que presenta la innovación. Así, el progreso tecnológico ha propiciado un desplazamiento sustancial de la agricultura y la industria hacia el sector servicios. Esto se debe a que el aumento de la productividad en la industria y la agricultura respecto a su promedio histórico ha sido muy superior al de los servicios que comportan una utilización intensiva de capital humano.

La difusión de la innovación es importante...

Para que las innovaciones tecnológicas revolucionarias generen crecimiento económico, es preciso que se difundan ampliamente a través de la economía. Las empresas necesitan aprender a usar la nueva tecnología, realizar inversiones de capital, reorganizar sus operaciones y formar a los empleados. De hecho, es frecuente que la adopción de nuevas tecnologías

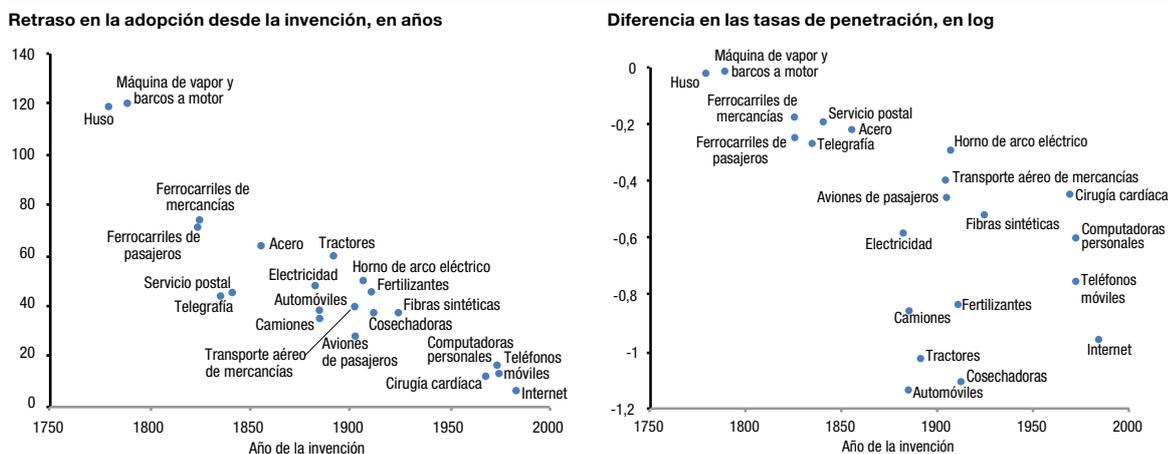
genere innovaciones complementarias a nivel organizativo y de modelo de negocio que, en sí mismas, conllevan mejoras de la productividad considerables. La dinámica competitiva, el acceso a la financiación, y el establecimiento de normas y reglamentaciones técnicas, entre otros factores, pueden influir significativamente en la trayectoria de difusión de tecnologías.

...y varía enormemente en función de las tecnologías y los países receptores

¿Con qué facilidad se difunde una tecnología a otras economías, en particular a las menos desarrolladas? Esta cuestión es importante. Habida cuenta del papel de la innovación como motor de crecimiento a largo plazo, la imperfecta difusión de tecnologías puede ser una de las causas de los niveles divergentes de prosperidad económica.

Estudios recientes sobre los patrones de difusión de tecnologías ofrecen una respuesta ambivalente. Por una parte, apuntan a que las innovaciones tecnológicas más recientes se han difundido más rápidamente a países de ingresos medianos y bajos (véase el gráfico que aparece a la izquierda en la figura 3). Por otro lado, también indican que la disparidad en la intensidad de utilización de las innovaciones más recientes ha aumentado (véase el gráfico que aparece a la derecha en la figura 3).

Para que una economía pueda sacar provecho de las tecnologías desarrolladas en el extranjero, es necesario que cuente con una *capacidad de absorción* suficiente: el capital humano capaz de entender y aplicar la tecnología en cuestión, el saber hacer organizativo y de gestión necesario, y las instituciones precisas para coordinar y movilizar los recursos que exige la adopción de la tecnología. En muchos casos, esa capacidad de absorción implica también poder desarrollar innovaciones tecnológicas y organizativas menores para adaptar la tecnología a las necesidades locales.

Figura 3: Una difusión de tecnologías más rápida pero menos generalizada

Véase la figura 1.7

Ecosistemas que Favorecen la Innovación Revolucionaria

¿Qué clase de ecosistema es el más adecuado para que florezca la innovación y se adopten nuevas tecnologías? Los seis estudios de caso recogidos en este informe hacen referencia a una serie de elementos bien conocidos que conducen al éxito:

- El sector público ha sido la principal fuente de financiación de investigaciones científicas que a menudo han sido esenciales para la invención y el desarrollo de innovaciones revolucionarias. En muchos casos, los gobiernos también han desempeñado un papel fundamental en la transferencia de esas tecnologías de los laboratorios a la etapa de producción (a menudo por intereses de defensa nacional o de política industrial).
- La dinámica competitiva de los mercados y los esfuerzos individuales de las empresas también han resultado cruciales, especialmente en la comercialización de ideas prometedoras y en el llevar a cabo innovaciones subsiguientes que han permitido incrementar la producción, reducir costos y aplicar las nuevas tecnologías a un espectro más amplio de actividades.
- Las relaciones entre los diversos actores que intervienen en la innovación revisten importancia. Estos nexos van desde los intercambios informales de conocimientos, las redes profesionales y la movilidad de trabajadores, hasta los marcos formales

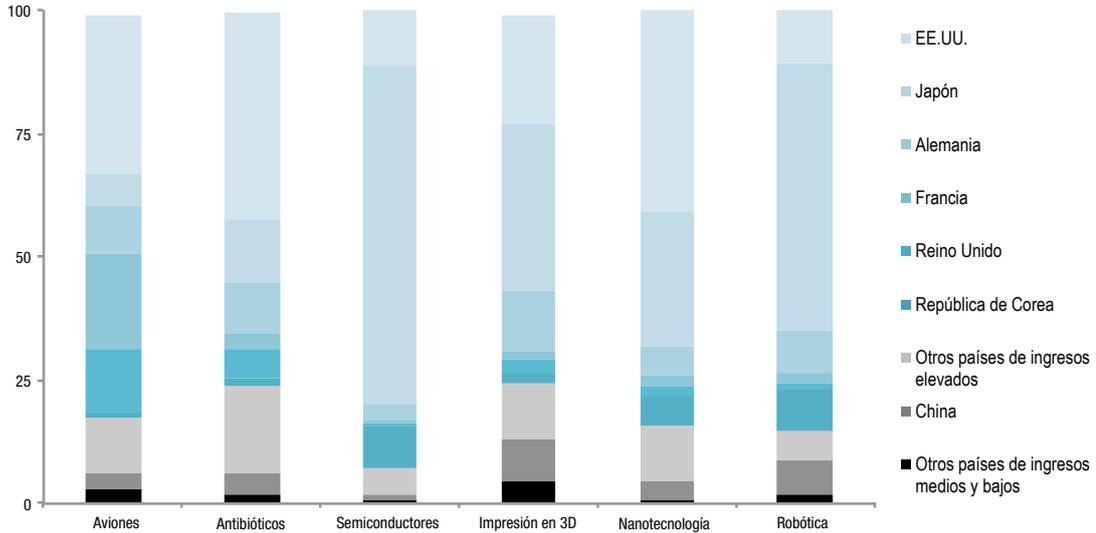
de concesión de licencias y de colaboración en investigación y desarrollo (I+D) entre empresas y universidades. Estas conexiones facilitan la transmisión de información entre los investigadores, y conectan las actividades de investigación fundamental y aplicada, que permite transformar ideas prometedoras en tecnologías comercializables.

La actividad en materia de patentes asociada con las seis innovaciones revolucionarias evidencia una concentración geográfica...

Los estudios de caso detallan cuántas patentes se solicitaron en todo el mundo para cada una de las seis innovaciones revolucionarias. Si bien la perspectiva sobre la innovación que ofrece el análisis de la actividad de patentamiento no es perfecta, sí proporciona información pormenorizada acerca del origen geográfico e institucional de las innovaciones —especialmente aquellas con potencial comercial—. Se observa que en los seis casos, la actividad en materia de patentes da muestras de concentración geográfica (véanse las figuras 4 y 5, y el cuadro 2). En los seis casos, el 80% de las solicitudes de patente parten de países de ingresos elevados. Incluso dentro de este grupo de naciones, las solicitudes de patentes tienden a originarse en un número reducido de ellas; así, al menos un 75% de las primeras solicitudes de todo el mundo provienen de los Estados Unidos, el Japón, Alemania, Francia, el Reino Unido y la República de Corea.

Figura 4: Concentración geográfica de la actividad de patentamiento

Porcentaje de primeras solicitudes respecto al total mundial

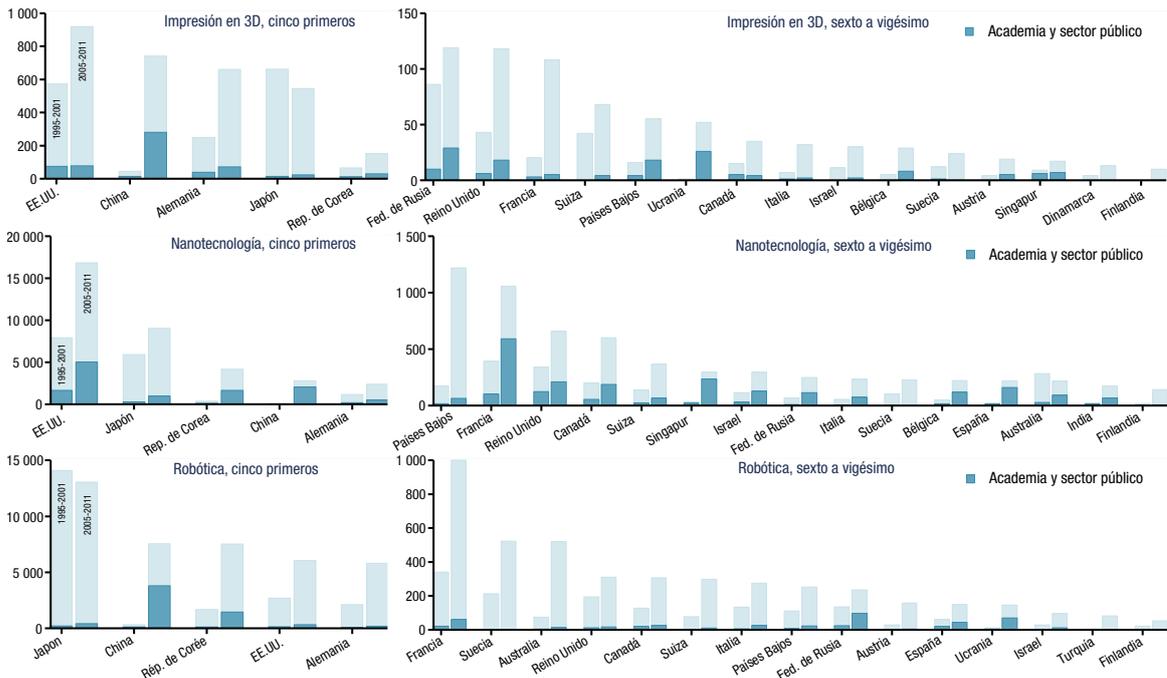


Notas: Esta figura resume las figuras 2.3, 2.5, 2.8, 3.2, 3.7 y 3.12, y abarca los mismos períodos temporales que los recogidos en esas figuras. Cabe precisar que las barras no suman exactamente 100%. Esto se debe a que se desconoce el origen de menos del 1% de las primeras solicitudes.

Fuente: OMPI, información extraída de la base de datos PATSTAT (véanse las notas técnicas).

Figura 5: ¿Cuáles son los países más activos en materia de patentes de impresión en 3D, nanotecnología y robótica?

Primeros 20 orígenes en cuanto al número de primeras solicitudes de patentes, 1995-2001 y 2005-2011



Fuente: OMPI, información extraída de la base de datos PATSTAT (véanse las notas técnicas).

Cuadro 2: Las 10 organizaciones que más patentes han solicitado se concentran en cinco países

Las 10 organizaciones que más patentes han solicitado en impresión en 3D, nanotecnología y robótica desde 1995

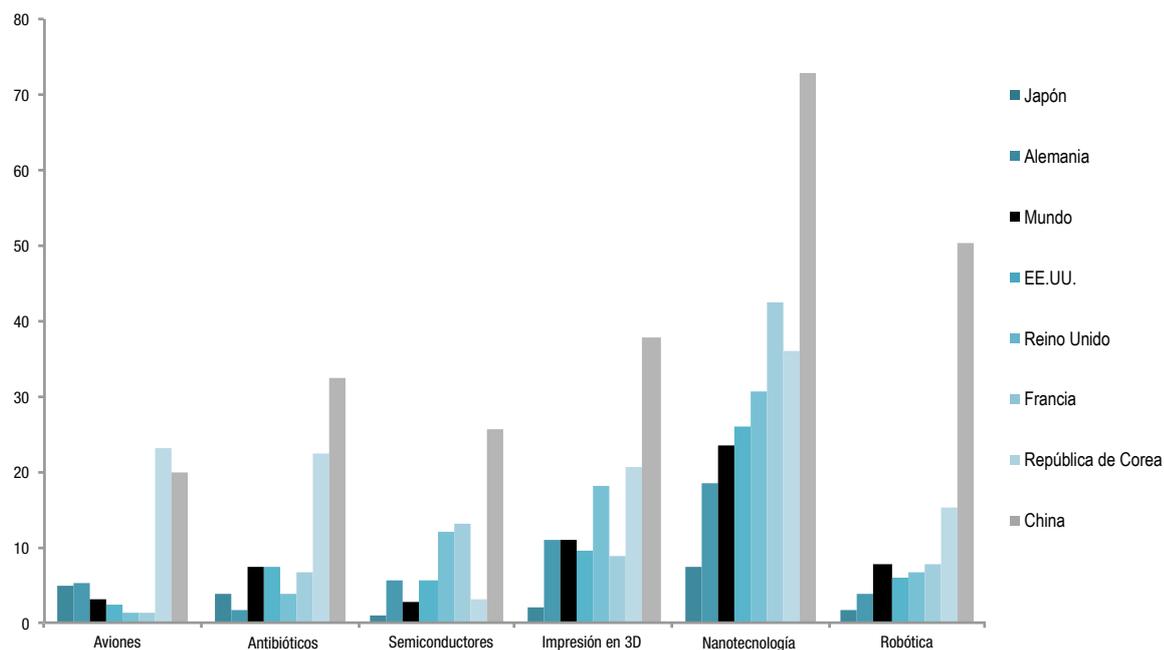
Impresión en 3D			Nanotecnología			Robótica		
Solicitante	Origen	Primeras solicitudes	Solicitante	Origen	Primeras solicitudes	Solicitante	Origen	Primeras solicitudes
3D Systems	US	200	Samsung Electr.	KR	2,578	Toyota	JP	4,189
Stratasys	US	164	Nippon Steel	JP	1,490	Samsung	KR	3,085
Siemens	DE	145	IBM	US	1,360	Honda	JP	2,231
General Electric	US	131	Toshiba	JP	1,298	Nissan	JP	1,910
Mitsubishi	JP	127	Canon	JP	1,162	Bosch	DE	1,710
Hitachi	JP	117	Hitachi	JP	1,100	Denso	JP	1,646
MTU Aero Engines	DE	104	Univ. of California	US	1,055	Hitachi	JP	1,546
Toshiba	JP	103	Panasonic	JP	1,047	Panasonic	JP	1,315
EOS	DE	102	Hewlett Packard	US	880	Yaskawa	JP	1,124
United Technologies	US	101	TDK	JP	839	Sony	JP	1,057

Notas: CN = China, DE = Alemania, JP = Japón, KR = República de Corea, US = Estados Unidos

Véanse los cuadros 3.3, 3.7 y 3.10

Figura 6: La proporción de patentes procedentes de instituciones académicas es mayor en las innovaciones actuales

Porcentaje de primeras solicitudes de patente presentadas por universidades e instituciones públicas de investigación



Nota: Esta figura abarca los mismos períodos recogidos en las figuras 2.3, 2.5, 2.8, 3.2, 3.7 y 3.12.

Fuente: OMPI, información extraída de la base de datos PATSTAT (véanse las notas técnicas).

...aunque China ha emergido recientemente como una fuente importante de actividad en materia de patentes

En años más recientes, China ha emergido como una fuente importante de patentes en impresión tridimensional, nanotecnología y robótica. Desde 2005, las primeras solicitudes de patente chinas en los ámbitos

de impresión en 3D y robótica han representado más de una cuarta parte del total mundial (con más solicitudes que cualquier otro país). En el caso de la nanotecnología, esta cifra es de casi el 15%, con lo que el país se coloca tercero en el escalafón global.

En la actualidad, la conexión entre innovación y ciencia parece más estrecha que otrora...

Otra conclusión destacable del análisis de la actividad de patentamiento es que el sistema científico y las relaciones formales entre las instituciones científicas y las empresas parecen ser más importantes hoy en día que en el pasado. En la figura 6 se muestra el porcentaje de solicitudes procedentes de universidades e instituciones públicas de investigación para las seis innovaciones que se estudian en el informe. Se observa que el porcentaje de patentes académicas es mayor en los casos de la impresión en 3D, la nanotecnología y la robótica que en los tres casos históricos. Destaca el ámbito de la nanotecnología, en el que las solicitudes procedentes de instituciones académicas representaron aproximadamente una cuarta parte del total mundial. Es interesante observar que el porcentaje de patentes solicitadas desde el mundo académico ha aumentado en la mayoría de los países desde que se inició la expansión de la nanotecnología en la década de 1980. Esto apunta a que la base científica de la innovación en nanotecnología ha cobrado más importancia en años recientes.

La mayor presencia de universidades e instituciones públicas de investigación en estadísticas de patentes puede deberse en parte a las políticas aplicadas para promover un mayor aprovechamiento de los resultados de la investigación científica en aplicaciones comerciales. No obstante, la formulación de estas políticas refleja también el importante papel que desempeña la investigación fundamental en el progreso tecnológico comercial.

...si bien la proporción de patentes presentadas por instituciones académicas difiere marcadamente entre países

Aunque la proporción de patentes de instituciones académicas ha aumentado en la mayoría de países, se aprecian diferencias notables. En el caso del Japón, las universidades e instituciones públicas de investigación nunca han representado más del 10% del total de primeras solicitudes. Por el contrario, en China suelen darse los porcentajes más elevados de patentes académicas, que superan el 70% en el ámbito de la nanotecnología y el 50% en robótica. No obstante, esto puede deberse a que la capacidad de I+D de las empresas chinas en esas áreas tecnológicas es más limitada, lo cual puede dar lugar a un ritmo más lento de comercialización de esas tecnologías. Por otra

parte, como sugieren los estudios de casos históricos, a largo plazo la existencia de una base científica sólida puede engendrar industrias y empresas nuevas una vez que las innovaciones revolucionarias vean la luz.

Evolución del papel de la P.I.

La P.I. fomenta la innovación...

Como se deduce del análisis de la actividad de patentamiento, innovadores en el ámbito de los seis estudios de caso utilizaron el sistema de patentes para proteger los frutos de su actividad innovadora. En algunos casos, como por ejemplo el de los semiconductores, dicha utilización fue intensa. Sus motivaciones para hacerlo fueron diversas, pero la información de que se dispone apunta a que la protección proporcionada por el sistema de P.I. contribuyó al menos en parte a la apropiación de la I+D, lo cual indica que los derechos de P.I. fueron incentivos relevantes para la innovación.

...y posibilita la existencia de mercados de tecnología

Los seis estudios de caso documentan otro hecho igualmente importante, el florecimiento de la innovación como resultado de sistemas implícitos o explícitos de intercambio de conocimientos. Por ejemplo, el funcionamiento de los primeros clubes de inventores de aviones aficionados del siglo XIX no difiere mucho del de las comunidades que utilizan programas informáticos de código abierto para contribuir a la investigación en los ámbitos de la impresión en 3D y la robótica. En el caso de los semiconductores, los acuerdos de concesión de licencias resultaron importantes para la comercialización de las nuevas tecnologías y la innovación posterior. En la actualidad, muchas de las empresas que investigan en los campos de la impresión en 3D, la nanotecnología y la robótica han adoptado políticas de innovación abiertas, pues han observado que su potencial para innovar es mayor cuando colaboran con otras contrapartes, aun si esa colaboración implica compartir ciertos secretos comerciales.

En muchos casos, el sistema de P.I. ha facilitado el intercambio de información al fomentar que se compartan conocimientos y al proporcionar un mecanismo flexible para que los innovadores decidan qué tecnologías compartir, con quién y bajo qué condiciones. Sin embargo, los estudios de caso subrayan la importancia de las normas sociales en el intercambio de conocimientos y aquella de la intervención gubernamental

para alentar el intercambio de conocimientos cuando es de interés público.

Si bien es cierto que los mercados de tecnología tuvieron ya importancia en el desarrollo de los aviones a principios del siglo XX, su relevancia es mayor hoy día. Para franquear las barreras tecnológicas, es preciso dar respuesta a dificultades tecnológicas cada vez más complejas. Como se ha visto anteriormente, el fomento de la investigación fundamental es una respuesta a estos desafíos. Además, los estudios de caso indican que las empresas tienden a adoptar un grado de especialización cada vez mayor, pues han observado que pueden ser más innovadoras y eficientes si se centran en tareas específicas de investigación, desarrollo, producción o comercialización. El sistema de P.I. posibilita esa especialización proporcionando un esquema flexible para la concesión de licencias, lo cual lo convierte en una piedra angular de los mercados de tecnología modernos.

Una de las cuestiones que preocupan sobre los ecosistemas de innovación actuales es el gran número de solicitudes de patente, que podría dar lugar a una maraña de patentes que más que posibilitar la existencia de mercados de tecnología, los ahogaría. Además, no faltan los que se inquietan acerca de la posibilidad de que la multiplicación de patentes coarte el intercambio de conocimientos. Sin embargo, los datos presentados en los estudios de caso sobre la impresión en 3D, la nanotecnología y la robótica demuestran que, por el momento, las preocupaciones acerca de esas marañas de patentes no se han materializado y que el sistema de P.I. parece haber acomodado el intercambio de conocimientos a través de varios mecanismos. No obstante, es preciso tener presente que muchas de las tecnologías examinadas en los estudios de caso se encuentran todavía en etapas de desarrollo muy tempranas y que algunas todavía no se han comercializado. Es posible que el futuro nos depare más conflictos en materia de P.I.

Los solicitantes de patentes buscan protección principalmente en los mercados de ingresos elevados

En los seis estudios de caso, los resultados del análisis de la actividad de patentamiento llevado a cabo son uniformes; indican que los innovadores buscan protección para sus invenciones principalmente en mercados de ingresos elevados y en China (véase el cuadro 3 para los tres campos de innovación actual).

Es probable que este fenómeno se deba al gran tamaño de los mercados de esos países y a la presencia de competidores con una capacidad tecnológica de vanguardia.

Cuadro 3: Los solicitantes de patentes buscan protección principalmente en los mercados de ingresos elevados

Porcentaje de solicitantes de cada familia de patentes que han buscado protección en determinados países

	Impresión en 3D	Nanotecnología	Robótica
EE.UU.	46.6	84.6	36.5
Japón	33.6	52.1	38.7
Alemania	37.7	39.8	28.6
Francia	32.4	36.9	21.9
Reino Unido	32.9	37.6	21.3
República de Corea	11.8	25.2	19.2
Otros países de ingresos elevados	16.4	20.5	9.5
China	38.3	31.8	36.6
Otros países de ingresos medianos y bajos	2.8	2.7	1.4

Notas: Este cuadro resume las figuras 3.5, 3.10 y 3.14, y recoge las solicitudes de patente presentadas y aprobadas por al menos una oficina de patentes desde 1995. Los valores utilizados para "otros países de ingresos elevados" y "otros países de ingresos medianos y bajos" son medias ponderadas del PIB (las magnitudes de las medias no ponderadas son similares).

Fuente: OMPI, información extraída de la base de datos PATSTAT (véanse las notas técnicas).

De las solicitudes de patente presentadas en los ámbitos tecnológicos en cuestión, solo una pequeña parte se solicitó también en países de ingresos medianos y bajos, exceptuando a China. Esto indica que las patentes ni han favorecido la diseminación de la tecnología en esos países cuando se ha producido, ni la han dificultado cuando no ha tenido lugar. Más bien, los resultados parecen indicar que el factor determinante en el grado de difusión de tecnologías es la presencia o ausencia de capacidad de absorción. No obstante, es importante tener presente que esta conclusión se basa en patrones agregados de solicitudes de patente y que, puesto que su distribución es muy sesgada, algunas patentes individuales pueden ejercer una influencia desproporcionada en algunos ámbitos tecnológicos. Además, las conclusiones extraídas hacen referencia únicamente a las seis tecnologías objeto de este informe.

La tecnología en sí misma está influyendo en la evolución del sistema de P.I.

A lo largo de la historia, las nuevas tecnologías han planteado complejos desafíos a los responsables de la formulación de políticas en materia de P.I. En algunos casos, las oficinas de patentes y los tribunales se

vieron obligados a dirimir cuestiones difíciles sobre la patentabilidad de algunas invenciones. Además, los estudios de caso históricos documentan cómo las decisiones de los tribunales, las nuevas disposiciones legislativas y las intervenciones específicas de los poderes públicos permitieron una adaptación y calibración continua de las políticas en materia de P.I. Sin duda, esta evolución va a continuar. Los estudios de caso sobre las tecnologías revolucionarias actuales ponen de manifiesto varios elementos nuevos que inevitablemente influenciarán las políticas de P.I. en el futuro:

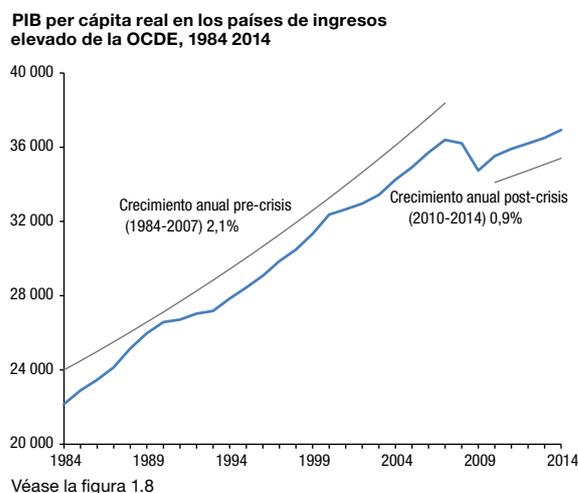
- La protección por derechos de autor cobra cada vez más importancia en el ámbito de la innovación tecnológica. Este fenómeno comenzó con el uso de la protección por derechos de autor para programas informáticos. A medida que estos se convirtieron en elementos integrantes de muchas tecnologías nuevas —entre ellas las impresoras 3D y los robots— el espectro abarcado por la protección por derechos de autor fue ampliándose. Además, este tipo de protección puede aplicarse a cualquier expresión de contenido digital, incluidos los diseños de objetos tridimensionales y de microprocesadores informáticos. Todavía no está claro si esta tendencia constituye únicamente una migración entre diferentes formas de P.I. o si, por el contrario, es una transformación de carácter más fundamental que planteará nuevos desafíos para el sistema de P.I.
- La aparición de la impresión en 3D abre la puerta a la posibilidad de reproducir fácilmente cualquier objeto que pueda estar protegido por diseños industriales u otras formas de protección de la P.I. Una pregunta obvia es si esta innovación dificultará que se respeten esos derechos de P.I., de manera análoga a lo que sucedió con la tecnología digital en el caso de los libros, la música, las películas y otras formas de expresión creativa protegidas por derechos de autor. Un escenario tal es todavía lejano y existen diferencias importantes entre la impresión en 3D y la copia de contenidos digitales. No obstante, las lecciones aprendidas pueden resultar muy valiosas para gestionar ese hipotético escenario de la mejor manera posible.
- Los secretos comerciales siempre han sido una herramienta importante —aunque quizás no muy visible— para la protección de la P.I. Aunque los datos que incluyen los tres estudios de caso no son concluyentes, hay indicios de que las políticas de secretos comerciales han adquirido más relevancia.

El principal motivo es el aumento de la movilidad de los trabajadores. A pesar de la facilidad de acceso que presenta el conocimiento codificado, los profesionales continúan resultando indispensables a la hora de aplicar de manera efectiva esos conocimientos. La legislación en materia de secretos comerciales regula la transmisión interpersonal de conocimientos y, como resultado, afecta tanto a la innovación como a la diseminación de tecnologías.

Perspectivas Futuras para el Crecimiento Generado por la Innovación

Como se ha mencionado previamente, los datos históricos sobre el PIB per cápita de las economías más avanzadas reflejan un crecimiento espectacular y excepcional en el período posterior a la Segunda Guerra Mundial. Sin embargo, el crecimiento desde el comienzo de la crisis financiera mundial en 2008 dista de ser exuberante. En la figura 7 se muestra la evolución del PIB per cápita en los países de ingresos altos desde mediados de la década de 1980. Antes de la crisis, el crecimiento medio se situaba en el 2,1% anual. La crisis no solamente ha provocado una marcada contracción de la economía, sino que ha hecho que el crecimiento medio anual desde 2010 no supere el 0,9%.

Figura 7: ¿El crecimiento espectacular experimentado tras la Segunda Guerra Mundial ha llegado a su fin?



Los optimistas consideran que el crecimiento volverá a recuperarse...

¿La crisis financiera marca el comienzo de una nueva etapa de crecimiento más lento? ¿La innovación como motor de crecimiento ha perdido potencia? Los optimistas argumentan que la economía mundial se encuentra todavía bajo los efectos de una sobredosis de deuda y que, con el tiempo, las fuerzas del mercado harán que el crecimiento regrese a su patrón anterior, dentro de los parámetros que determinen las capacidades productivas de las diferentes economías. Además, si se tiene en cuenta el potencial de la innovación para fomentar el crecimiento económico, hay motivos para el optimismo:

- Nunca antes se habían invertido tantos recursos a nivel mundial en hacer avanzar la frontera del conocimiento. Si bien es cierto que la crisis financiera ha dejado huella en algunos países, la inversión en I+D se ha resentido mucho menos que la economía en general. Además, la emergencia de China como país innovador y el rápido crecimiento de las partidas dedicadas a I+D en la República de Corea han hecho aumentar la diversidad del panorama innovador a nivel mundial.
- La innovación parece presentar todavía un potencial importante para la generación de mejoras en la productividad y la transformación de las estructuras económicas. La contribución de las TIC al crecimiento ha sido significativa. Sin embargo, si la historia se repite, hay más por llegar. Las contribuciones al crecimiento de las innovaciones revolucionarias se han producido con décadas de retraso. La próxima generación de innovaciones en el ámbito de las TIC —centradas en la inteligencia artificial— resulta muy prometedora.
- Muchos otros ámbitos de la innovación, entre ellos los tres que se abordan en este informe, albergan un gran potencial para fomentar el crecimiento. Por ejemplo, el uso cada vez más corriente de impresoras 3D y robots inteligentes podría perfectamente conducir a una reorganización de las cadenas de suministro en muchos sectores y contribuir sustancialmente al crecimiento económico. La ingeniería genética, los nuevos materiales y varias fuentes de energía renovable son otras áreas de innovación con mucho potencial. Las nuevas tecnologías también han mejorado drásticamente las herramientas de investigación que posibilitan el avance

de la ciencia. En particular, técnicas informáticas como el análisis de grandes volúmenes de datos o las simulaciones complejas han abierto nuevas puertas a los investigadores en muchos ámbitos de la tecnología. Para los optimistas, la interacción entre ciencia y tecnología genera una dinámica que se autoalimenta y parece no conocer límites.

...pero persiste la duda

Contrariamente a estas visiones optimistas, algunos economistas han expresado dudas acerca de la recuperación de los niveles de crecimiento en las economías más avanzadas durante las próximas décadas hasta situarse de nuevo en niveles similares a los que se vivieron tras la Segunda Guerra Mundial. Sus argumentos son los siguientes:

- Los cambios demográficos y otros factores han llevado a las economías desarrolladas a una situación de “estancamiento secular”, en la que el crecimiento efectivo de sus economías es repetidamente inferior al potencial. Aunque la innovación sigue contribuyendo al crecimiento futuro, la persistente debilidad de la economía puede dar lugar a un círculo vicioso en el que las empresas rehuirían las oportunidades ofrecidas por las nuevas tecnologías, los largos períodos de desempleo harían que los trabajadores perdiesen sus competencias técnicas o que nunca las adquiriesen, y el menor número de nuevas empresas y de empresas en crecimiento ralentizaría la transformación estructural de la economía.
- Las estimaciones sobre el crecimiento de la productividad de las economías muestran una desaceleración que se inició mucho antes del comienzo de la crisis. Cabe destacar que la economía estadounidense vivió un marcado aumento de la productividad entre 1995 y 2003, debido principalmente a las TIC. Sin embargo, desde entonces hemos asistido a una ralentización importante en el crecimiento de la productividad. En términos más generales, los resultados de varios estudios muestran que el potencial de crecimiento de las economías desarrolladas comenzó a disminuir a comienzos de la década de 2000, y que esta disminución se debe fundamentalmente a la desaceleración del crecimiento de la productividad.

- Los pesimistas argumentan que la mayor parte de la contribución al crecimiento de las TIC ya se ha producido y que ninguna innovación comparable se perfila en el horizonte. Igualar los logros de innovaciones anteriores como la velocidad de los transportes, la esperanza de vida y las comunicaciones a larga distancia puede resultar difícil. Además, el potencial de la innovación para incrementar la participación de la fuerza de trabajo es mucho menor. Al contrario, si algo cabe esperar es que los cambios demográficos en las economías desarrolladas reduzcan esa participación. También hay que cuestionar la productividad de la actividad innovadora en el futuro, pues expandir las fronteras del conocimiento se hace cada vez más difícil debido a que las oportunidades más fácilmente aprovechables ya se han explotado.

Finalmente, algunos economistas cuestionan que el método actual de medición del PIB capture el verdadero impacto de las nuevas tecnologías. Este argumento presenta dos vertientes. Por un lado, las herramientas que los expertos en estadística utilizan tienen cada vez más dificultades para capturar las mejoras cualitativas y las nuevas formas de producción económica. Por otra parte, el concepto mismo de PIB es poco apto para medir los beneficios aportados por las innovaciones actuales en el ámbito del bienestar social. Por ejemplo, el desarrollo de muchas tecnologías nuevas es altamente oneroso, pero una vez que esas tecnologías se materializan, producirlas es relativamente económico y algunas pueden reproducirse de forma gratuita. De esa manera, contribuyen poco al crecimiento de la economía pero pueden aumentar de manera sustancial los niveles de bienestar. Algunos economistas

rebatan esa postura argumentando que el fenómeno de inframedición del PIB no es algo nuevo y que no existen pruebas de que sea más grave en la actualidad que en el pasado.

Conclusión

Solo el tiempo permitirá saber si el crecimiento futuro será comparable al experimentado tras la Segunda Guerra Mundial. No obstante, continúa siendo indispensable que tanto los responsables de la formulación de políticas como los empresarios sigan invirtiendo en innovación. Los estudios de caso que incorpora este informe documentan el tiempo necesario para transformar las ideas en tecnologías productivas, refinarlas y hacer que las empresas y los consumidores las acepten. Para tener éxito en la innovación, ya sea a nivel individual en una empresa o en el conjunto de la economía, es preciso perseverar, incluso en períodos de bajo crecimiento en los que las partidas dedicadas a la innovación se ven amenazadas.

Los responsables de la formulación de políticas también deberán velar por que el sistema de P.I. favorezca la existencia de un ecosistema que contribuya a la innovación revolucionaria. Desde el comienzo de la revolución industrial, el sistema de P.I. ha sabido adaptarse de manera continuada a las exigencias y desafíos planteados por la aparición de nuevas tecnologías. Sin duda alguna, este proceso va a continuar y, para optimizar las decisiones que se tomen al respecto, es preciso analizar pormenorizadamente la información factual de la que se dispone y adoptar una actitud abierta al cambio tecnológico.

Índice

Capítulo 1: Una mirada dentro del motor del crecimiento económico	23	Capítulo 3 : Innovaciones con potencial revolucionario	103
1.1 Crecimiento económico a lo largo de la historia	23	3.1 La impresión en 3D	104
1.2 Cómo contribuye la innovación al crecimiento económico	28	3.1.1 El desarrollo de la impresión en 3D y su potencial económico	104
1.3 La innovación de vanguardia y su difusión	33	3.1.2 El ecosistema de la innovación en impresión en 3D	108
1.4 La innovación y los derechos de P.I.	38	3.1.3 La impresión en 3D y el sistema de P.I.	113
1.5 Perspectivas futuras para el crecimiento generado por la innovación	42	3.2 La nanotecnología	119
Capítulo 2: Innovaciones revolucionarias del pasado	53	3.2.1 El desarrollo de la nanotecnología y su potencial económico	119
2.1 Aviones	54	3.2.2 El ecosistema de la innovación en nanotecnología	122
2.1.1 El desarrollo del avión comercial y su contribución económica	54	3.2.3 La nanotecnología y el sistema de P.I.	127
2.1.2 El ecosistema de innovación en la aviación	59	3.3 La robótica	132
2.1.3 Los aviones y el sistema de P.I.	64	3.3.1 El desarrollo de la robótica y su potencial económico	132
2.2 Antibióticos	67	3.3.2 El ecosistema de la innovación en robótica	136
2.2.1 El descubrimiento y desarrollo de los antibióticos y su contribución económica	67	3.3.3 La robótica y el sistema de P.I.	140
2.2.2 El ecosistema de innovación de los antibióticos	71	3.4 Experiencia adquirida	146
2.2.3 Los antibióticos y el sistema de P.I.	74	Abreviaturas y siglas	155
2.3 Semiconductores	79	Notas técnicas	156
2.3.1 El desarrollo de los semiconductores y su contribución económica	79		
2.3.2 El ecosistema de innovación de los semiconductores	83		
2.3.3 Los semiconductores y el sistema de P.I.	89		
2.4 Experiencia adquirida	94		

Capítulo 1: Una mirada dentro del motor del crecimiento económico

El crecimiento económico ha constituido una poderosa fuente de reducción de la pobreza, creación de empleo y mejora del nivel de vida en general. Sin embargo, es un fenómeno contingente. Antes del siglo XVIII, el crecimiento de la economía mundial fue menor. La pobreza era generalizada y resultaba impensable que el nivel de vida de las clases no privilegiadas pudiese mejorar sustancialmente. Desde entonces, la economía mundial ha crecido a un ritmo sin precedentes, y esto ha dado lugar a mejoras en la calidad de vida y a una prosperidad material generalizada. Aun así, algunas economías nacionales han experimentado un crecimiento más rápido y sostenido que otras, lo que ha provocado que en la actualidad existan grandes disparidades en el grado de prosperidad de los países.

¿Qué explica las variaciones en el crecimiento observadas a lo largo de la historia? Los académicos llevan mucho tiempo tratando de dar respuesta a esta cuestión. El inicio de un crecimiento cada vez más rápido en la segunda mitad del siglo XVIII dio lugar a la aparición de las primeras teorías sobre el crecimiento económico — formuladas, entre otros, por Adam Smith, David Ricardo, Thomas Robert Malthus y John Stuart Mill—. ¹ Desde entonces, estas teorías se han visto complementadas por nuevas perspectivas importantes, siendo una de las más destacadas que el crecimiento económico sostenido se basa en el progreso tecnológico continuo. De hecho, en los tres últimos siglos hemos visto aparecer una serie de innovaciones revolucionarias en varios ámbitos de la tecnología que han transformado sustancialmente la actividad productiva y propiciado el desarrollo de nuevas industrias.

Teniendo en cuenta los factores que acabamos de mencionar, este informe examina el papel que desempeña el sistema de propiedad intelectual (P.I.) en el proceso de crecimiento. Este examen se lleva a cabo en dos etapas. Primero, se analizan la naturaleza del crecimiento económico a lo largo de la historia y la manera en que los diversos mecanismos de protección de la P.I. (capítulo primero) afectan al crecimiento. En segundo lugar, se estudia el papel de la P.I. en el caso concreto de tres innovaciones históricas de carácter revolucionario —los aviones, los antibióticos y los semiconductores— y tres innovaciones actuales que podrían ser revolucionarias: la impresión en 3D, la nanotecnología y la robótica. Estos estudios de caso constituyen el grueso de los capítulos 2 y 3, respectivamente.

Este capítulo inicial explora los entresijos del motor del crecimiento económico. Comienza reseñando una serie de hechos estilizados acerca del crecimiento económico a lo largo de la historia (sección 1.1). Pasa a continuación a examinar cómo contribuye la innovación al crecimiento económico (sección 1.2). Una vez establecido este marco conceptual, el capítulo analiza a continuación el proceso innovador, estudiando qué posibilita la innovación revolucionaria y cómo se difunde de una economía a otra (sección 1.3). Tras abordar esas cuestiones básicas, el capítulo se centra en los efectos de los diversos mecanismos de protección de la P.I. sobre la innovación y la difusión del conocimiento (sección 1.4.). En la última sección del capítulo se debate sobre las perspectivas de crecimiento que nos depara el futuro, a la luz de la reciente crisis financiera (sección 1.5).

1.1 Crecimiento económico a lo largo de la historia

No se dispone de datos sobre el crecimiento económico para la mayor parte de la historia de la humanidad. Las condiciones de vida en esas épocas, comparadas con las actuales, eran pésimas y permanecían inalteradas generación tras generación. Esa situación empezó a cambiar paulatinamente hace unos 200 años —con el comienzo de la primera revolución industrial— gracias a la aparición de los motores de vapor, el hilado del algodón y el ferrocarril. ² Desde entonces, el crecimiento económico sostenido se considera como algo normal, a pesar de que no ha sido uniforme ni desde un punto de vista geográfico ni temporal.

Esta sección tiene como objetivo preparar el terreno ofreciendo un panorama de los niveles de crecimiento que se han experimentado a lo largo de los dos últimos siglos. El análisis detallado de los datos disponibles nos permite extraer cuatro hechos estilizados:

1. El crecimiento en las economías más avanzadas despegó a principios del siglo XIX y se aceleró en el período posterior a la Segunda Guerra Mundial.
2. El crecimiento económico ha hecho que los servicios hayan desplazado a la agricultura como principal actividad económica y ha provocado un aumento de la urbanización.

1. Consúltese Samuelson (1978) para un visión general del tema.

2. Véase Gordon (2012).

3. Las diferencias existentes en los niveles de crecimiento de los países han hecho aumentar la disparidad entre las economías ricas y pobres. En las últimas décadas, las desigualdades dentro de cada país han aumentado a medida que la economía crecía. No obstante, el rápido crecimiento de China y la India ha representado una fuerza igualadora en la distribución de los ingresos a nivel mundial y ha hecho disminuir la pobreza en términos absolutos.

Cada uno de los apartados siguientes profundiza en uno de estos hechos estilizados.

Hecho estilizado #1

El crecimiento en las economías más avanzadas despegó a principios del siglo XIX y se aceleró en el período posterior a la Segunda Guerra Mundial

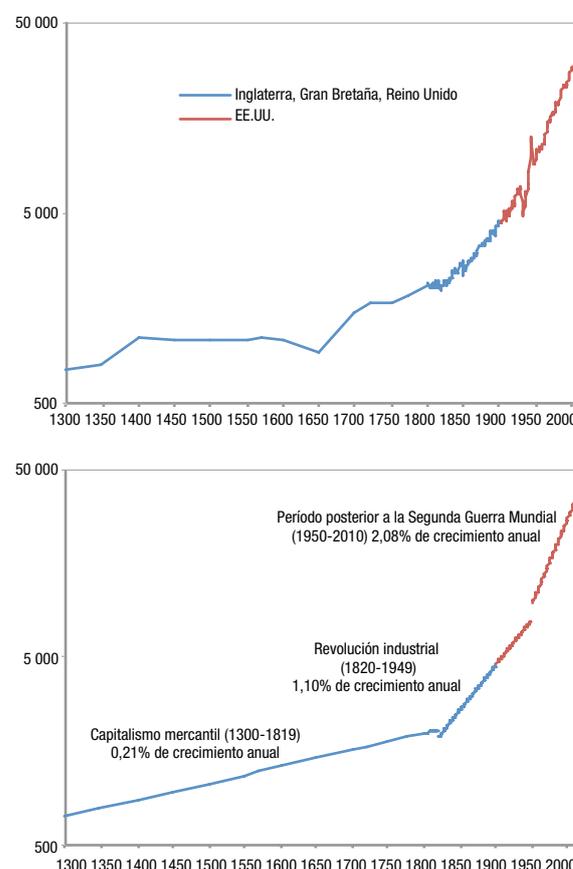
Estudiar el crecimiento económico de hace siglos es complejo. Las economías desarrolladas comenzaron a recopilar datos nacionales —lo que permite computar el producto interno bruto (PIB)— en la primera mitad del siglo XX. La mayoría de los países en desarrollo empezaron a hacerlo mucho más tarde. Los historiadores económicos han estimado los valores del PIB para los períodos de los que no existen datos valiéndose de las cifras históricas de producción, salarios, impuestos, etcétera. Así pues, para algunos países se dispone de estimaciones del volumen de la economía desde hace dos siglos o más. Estas estimaciones distan de ser perfectas. A medida que nos adentramos en el pasado lejano, su margen de error aumenta. Además, como se explica en la sección 1.2, la comparación de cifras de PIB entre diferentes períodos plantea problemas a la hora de cuantificar el valor económico de los cambios en el tipo y la calidad de los bienes y servicios producidos. Lo más probable es que la comparación de valores del PIB a lo largo de períodos de tiempo dilatados subestime considerablemente las mejoras en el nivel de vida material, pues este indicador no captura plenamente los beneficios asociados con la aparición de nuevas tecnologías.³

A pesar de estos inconvenientes, el trabajo llevado a cabo por los historiadores económicos es la única fuente de información empírica sobre la evolución a largo plazo del crecimiento económico de la que se dispone y, por lo tanto, se ha estudiado pormenorizadamente. Basándose en el conjunto más completo de estimaciones históricas disponibles (extraídas del Proyecto

Maddison), la figura 1.1 muestra la evolución del PIB per cápita en las economías más avanzadas desde 1300.⁴ Se refiere aquí a las economías que presentan un PIB per cápita más alto en cada período. A efectos de la figura 1.1, estas economías son Inglaterra, Gran Bretaña y el Reino Unido hasta 1900, y los Estados Unidos de América (EE.UU.) a partir de entonces.⁵

Figura 1.1: Crecimiento de las economías más avanzadas a lo largo de siete siglos

PIB real per cápita, 1300-2000, escala logarítmica



Notas: los valores del PIB se expresan en dólares internacionales de 1990, y tienen en cuenta las diferencias de poder adquisitivo entre los países. En el caso de “Inglaterra, Gran Bretaña, Reino Unido”, las estimaciones corresponden a Inglaterra hasta 1700, a Gran Bretaña desde 1700 a 1850 y al Reino Unido a partir de 1851. Las pendientes de las líneas de tendencia logarítmicas representan las tasas anuales de crecimiento para los tres períodos.

Fuente: Proyecto Maddison, www.ggd.net/maddison/maddison-project/home.htm, versión de 2013.

En la figura inferior, los siete siglos aparecen divididos en tres etapas de crecimiento y las líneas de tendencia representan el crecimiento medio del PIB per cápita

3. Véase DeLong (1998) y Coyle (2014).

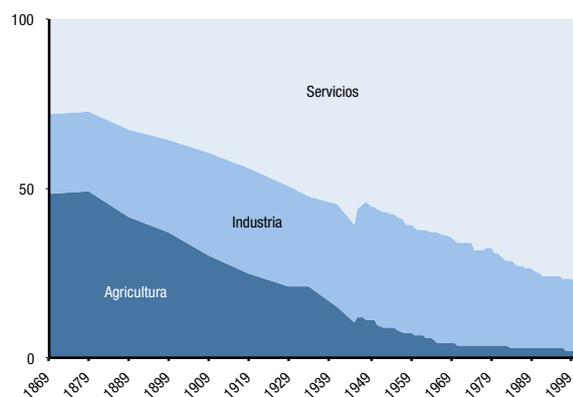
4. Véase Bolt y van Zanden (2014).

5. Siguiendo el enfoque de Gordon (2012).

durante cada período. El primero, denominado “capitalismo mercantil”, de acuerdo con la terminología original utilizada por Kuznets (1967), se caracteriza por un crecimiento lento y esporádico de un 0,21% de promedio anual.⁶ Con la revolución industrial, la tasa de crecimiento anual experimentó un marcado aumento, hasta situarse en el 1,1%.⁷ Para entender la importancia de este aumento, cabe señalar que con un crecimiento anual del 0,21% se tardarían 331 años en duplicar el tamaño de la economía, mientras que con un crecimiento del 1,10% esto ocurriría cada 64 años. Por último, tras la Segunda Guerra Mundial el crecimiento se incrementó hasta el 2,08%, lo que supone una duplicación del PIB per cápita cada 34 años. A la luz de estos datos, el crecimiento al que hemos asistido desde la década de 1950 resulta a la vez espectacular y excepcional.

Figura 1.2: El auge de los servicios

Porcentaje de trabajadores empleados en cada sector de la economía estadounidense, 1869-2000



Notas: “Agricultura” incluye agricultura, silvicultura y pesca; “industria” incluye manufacturas, minería y construcción; “servicios” incluye transporte y suministro público de agua y energía, venta al por mayor, distribución detallista, finanzas, seguros, inmobiliaria y servicios gubernamentales, así como las actividades incluidas en la categoría “servicios” del *Bureau of Economic Analysis*. Para los años anteriores a 1929 se han utilizado las estimaciones de Kendrick, como detalla el *US Bureau of the Census* (1975).

Fuente: *Bureau of Economic Analysis, National Income and Product Accounts*, recuadro 6.8B, y *US Bureau of the Census* (1975).

6. Broadberry *et al.* (2011) atribuyen el crecimiento del PIB per cápita que se experimentó en el siglo XIV al descenso de la población causado por la peste negra. De manera similar, el crecimiento ocurrido durante la segunda mitad del siglo XVII habría coincidido con una reducción poblacional.
7. Siguiendo la postura de Maddison (2001), la figura 1.1 selecciona 1820 como el año que marca el paso de la época del “capitalismo mercantil” a la de la “revolución industrial”.

Hecho estilizado #2

El crecimiento económico ha hecho que los servicios hayan desplazado a la agricultura como principal actividad económica y ha provocado un aumento de la urbanización

En las sociedades medievales, la agricultura era la principal actividad económica. La aceleración del crecimiento económico ocurrida a comienzos del siglo XIX dio lugar a una transformación paulatina de la economía, que fue migrando inicialmente de la agricultura hacia la industria y los servicios y, posteriormente, exclusivamente hacia los servicios. La figura 1.2 ilustra esa transformación en el caso de los EE.UU., y muestra qué porcentaje de trabajadores ha empleado cada uno de los tres principales sectores económicos desde mediados del siglo XIX. En 1869, la agricultura representaba casi la mitad del empleo, y la industria y los servicios proporcionaban una cuarta parte de los puestos de trabajo cada uno.⁸ En los 131 años siguientes, la agricultura perdió su preponderancia y en el año 2000 solo ocupaba al 2,4% de los trabajadores. En el caso de la industria, alcanzó su máximo histórico en 1953, con un 34,4% de la fuerza de trabajo, para caer después hasta situarse en el 20,4% en 2000. El crecimiento más dinámico se ha observado en el sector de servicios: en 1934 ocupaba ya a más de la mitad de los trabajadores, y en el año 2000 esa cifra era superior a las tres cuartas partes.

El escenario es similar cuando se examinan los porcentajes del PIB que cada sector representa en términos de valor añadido. En 2010, el 73,6% del producto económico de los países de ingresos altos correspondía a los servicios, la industria representaba el 25,0% y la agricultura, el 1,4%.⁹ En resumen, el crecimiento económico ha convertido las sociedades agrarias de hace unos siglos en las economías actuales basadas en los servicios.

8. La elección de 1869 como año de inicio en la figura 1.1 responde únicamente a criterios de disponibilidad de datos. Los estudios históricos apuntan a que la transformación estructural de migración hacia la industria y los servicios comenzó mucho antes. Por ejemplo, Broadberry *et al.* (2011) estiman que, en Inglaterra, el porcentaje del PIB que representaba la agricultura se redujo del 49,1% en 1381 al 26,8% en 1700, mientras que el mismo indicador para los servicios aumentó del 23,1% hasta el 34,0% durante ese mismo intervalo de tiempo.
9. Datos extraídos de la base de datos de los Indicadores de Desarrollo Mundial del Banco Mundial.

Esa transformación estructural tuvo repercusiones importantes en la geografía económica. La fuerza de trabajo que liberó el sector agrícola se concentró en zonas urbanas, que ofrecían no solo oportunidades de empleo sino también acceso a servicios sanitarios, centros educativos, mercados de venta al por menor, transporte, entretenimiento y otras comodidades. La urbanización se aceleró sustancialmente con el inicio de la revolución industrial en el siglo XIX. En el Reino Unido —la economía más avanzada en ese siglo—, el porcentaje de la población total que vivía en ciudades de 5.000 o más habitantes aumentó de una quinta parte en 1800 a dos terceras partes en 1900.¹⁰ Londres se convirtió en la ciudad más grande del mundo; en 1800 contaba con un millón de habitantes y, en 1891, con 5,6 millones.¹¹ En comparación, París solo alcanzó la marca del millón de habitantes a mediados del siglo XIX, Nueva York en 1871 y Berlín en 1880.¹² De hecho, la urbanización tomó más tiempo en otras economías. En los EE.UU., el porcentaje de población urbana se situaba en un relativamente modesto 31,3% en 1900, y no superó la barrera de las dos terceras partes hasta la segunda mitad del siglo XX.¹³ Aun así, en 2010 casi cuatro quintas partes de la población de todos los países de ingresos altos vivían en áreas urbanas.¹⁴

Hecho estilizado #3

Las diferencias existentes en los niveles de crecimiento de los países han hecho aumentar la disparidad entre las economías ricas y pobres

¿La distribución del crecimiento en el mundo ha sido uniforme? Desde que el crecimiento comenzó a acelerarse a principios del siglo XIX, ¿cómo les ha ido a las demás economías? Para responder en pocas palabras, podemos tomar prestado el célebre comentario de Pritchett (1997): “divergencia de las gordas”. En 1870, que es el primer año para el que se dispone de datos de un número suficiente de países, el PIB per cápita de la economía más rica era unas diez veces superior al de la economía más pobre; en 2008, esa diferencia se había

ampliado a 126 veces.¹⁵ Si bien algunas economías que fueron pobres en tiempos pasados —en particular de Asia Oriental— han logrado alcanzar al grupo de economías más avanzadas, no se ha dado un proceso de convergencia análogo a nivel mundial. La figura 1.3 ilustra este punto graficando el PIB per cápita inicial y el subsiguiente crecimiento de cada economía para la totalidad del período del que existen datos. Si las cifras de PIB per cápita hubiesen convergido cabría esperar una correlación negativa, que apuntaría a un crecimiento más rápido de las economías inicialmente más pobres. Sin embargo, ni durante todo el período 1870-2008, ni tras la Segunda Guerra Mundial se dio esta correlación negativa.¹⁶

El crecimiento sostenido de las economías más avanzadas y la falta de convergencia del resto de países han hecho que existan hoy en día marcadas diferencias entre los valores absolutos de la renta per cápita de los diversos países. Alemania y el Ecuador son un buen ejemplo. En 1870, el PIB per cápita de Alemania era de 1.839 dólares de los EE.UU. (USD) y el del Ecuador, de 411. Por lo tanto, la diferencia era de 1.428 USD. Entre 1870 y 2008, el crecimiento promedio de ambas economías fue similar, situándose en torno al 1,8%. El resultado es que en 2008, la renta per cápita de Alemania había aumentado hasta los 20.801 USD, mientras que en el Ecuador, ese aumento había llegado únicamente a 5.005 USD. Así pues, la diferencia en términos absolutos del PIB per cápita entre los dos países se había multiplicado por 11, hasta alcanzar los 15.796 USD.¹⁷

10. Véase Bairoch y Goertz (1989).

11. Información extraída de censo histórico de Londres, que puede consultarse en data.london.gov.uk/dataset/historic-census-population.

12. Véase Watson (1993).

13. Datos del *US Bureau of the Census*, que pueden consultarse en www.census.gov/population/www/censusdata/files/table-4.pdf. Si se consideran ciudades los centros poblacionales de 2.500 o más habitantes, el porcentaje de población urbana en 1960 es del 63,1%.

14. Datos extraídos de la base de datos de los Indicadores de Desarrollo Mundial del Banco Mundial.

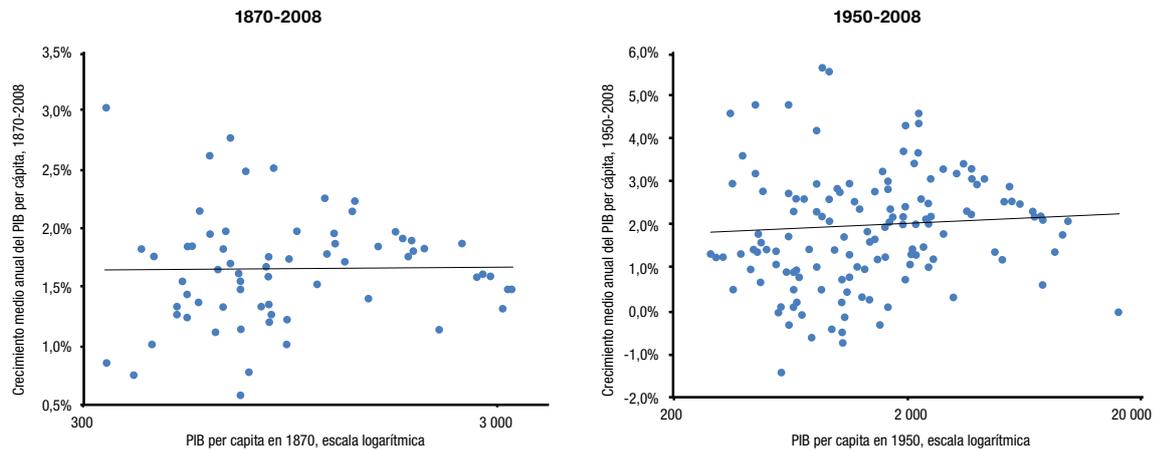
15. Estas estimaciones se basan en la base de datos del Proyecto Maddison (véase también la figura 1.3). Según esa base de datos, en 1870 Australia era el país más rico y la República de Corea, el más pobre. En 2008, los Estados Unidos eran la nación más rica y la República Democrática del Congo, la más pobre.

16. Las pendientes de las líneas de regresión lineal que se muestran en la figura 1.3 no son diferentes de cero en términos estadísticos. Obsérvese, no obstante, que se ha producido una convergencia del PIB per cápita a largo plazo en las economías de ingresos altos (Pritchett, 1997).

17. Todos los datos de este ejemplo se han tomado de la base de datos del Proyecto Maddison, y están expresadas en dólares internacionales de 1990.

Figura 1.3: Las economías más pobres no han crecido más rápido que las más ricas

Renta per cápita inicial y crecimiento posterior



Notas: los valores del PIB se expresan en dólares internacionales de 1990, y tienen en cuenta las diferencias de poder adquisitivo entre los países. El primer gráfico incluye 67 economías para las cuales la base de datos del Proyecto Maddison proporciona estimaciones del PIB per cápita en 1870. El segundo gráfico incluye 138 economías para las cuales se dispone del PIB per cápita en 1950. Excluye tres pequeños países productores de petróleo (Guinea Ecuatorial, Kuwait y Qatar), pues su crecimiento se ha visto muy influenciado por factores cíclicos o bien al principio o bien al final del periodo 1950-2008.

Fuente: Proyecto Maddison, www.ggd.net/maddison/maddison-project/home.htm, versión de 2013.

A esto hay que añadir las diferencias iniciales en la renta per cápita, que en su mayoría se han mantenido con el paso del tiempo. Ocho de las diez economías más ricas en 1870 seguían estando entre las diez primeras en 2008. Solo Hong Kong y Singapur consiguieron hacerse un hueco en ese grupo de cabeza.¹⁸ Hay que aclarar que la mayor parte de las demás economías también han registrado crecimiento económico, lo cual ha dado lugar a una mejora sustancial de las condiciones de vida de sus ciudadanos respecto al siglo XIX. No obstante, los patrones de crecimiento en los diferentes países del mundo no han reducido la desigual prosperidad de las naciones, sino que la han hecho aumentar.

Hecho estilizado #4

En las últimas décadas, las desigualdades dentro de cada país han aumentado a medida que la economía crecía. No obstante, el rápido crecimiento de China y la India ha representado una fuerza igualadora en la distribución de los ingresos a nivel mundial y ha hecho disminuir la pobreza en términos absolutos

¿El hecho de que las rentas per cápita de los países hayan divergido significa que la desigualdad en el mundo ha aumentado? No necesariamente, por dos motivos. En primer lugar, el análisis precedente no establece diferencias entre los países, y obvia el hecho de que algunos tienen mucha más población que otros. En segundo lugar, no se tienen en cuenta las modificaciones en la distribución de los ingresos dentro de cada país, algo que afecta a la prosperidad del ciudadano medio.

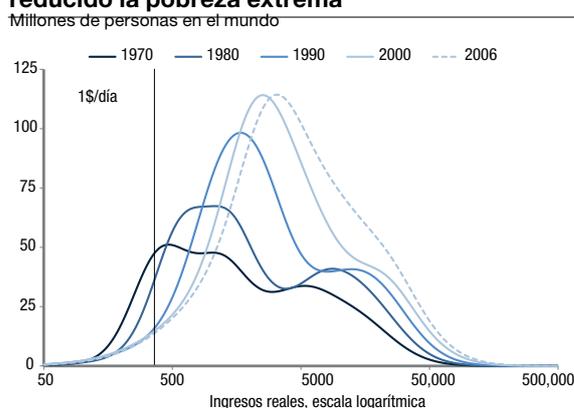
18. Como anteriormente, estas comparaciones se basan en cifras de PIB per cápita extraídas de la base de datos del Proyecto Maddison.

Para evaluar si la desigualdad en el mundo ha aumentado, es necesario examinar cómo ha evolucionado en el tiempo la distribución de los ingresos entre todos los ciudadanos del mundo (y no entre países). Sala-i-Martin (2006) realizó precisamente esos análisis. Utilizando datos del PIB per cápita y de la distribución de la renta nacional de 138 países, su estudio estima la distribución mundial de la renta desde 1970.¹⁹ Llega a tres conclusiones. Primera, que en la mayoría de países ha aumentado la desigualdad entre los ciudadanos. Segunda, que a pesar de ello y del aumento de las diferencias de renta per cápita entre los países, la desigualdad mundial ha disminuido. Aunque a primera vista esta conclusión puede parecer contradictoria, se explica por el rápido crecimiento de países asiáticos muy poblados que inicialmente eran pobres, sobre todo China y la India, y que han visto cómo sus rentas per cápita convergían con las de las economías desarrolladas. Los autores de estudios posteriores —en los que se han utilizado datos y estrategias de estimación diferentes— se muestran más precavidos a la hora de concluir que la desigualdad mundial se ha reducido,²⁰ pero concuerdan en que las grandes economías asiáticas han representado una fuerza igualadora en la distribución de los ingresos a nivel mundial.

La tercera conclusión es que el crecimiento económico ha reducido sustancialmente los niveles de pobreza extrema (ingresos no superiores a un dólar por día). La figura 1.4, que se ha realizado utilizando una actualización de las estimaciones de Sala-i-Martin, muestra la distribución de los ingresos mundiales desde 1970 y el umbral de extrema pobreza de un dólar diario. Se observa cómo el crecimiento económico ha hecho bascular la distribución mundial de los ingresos hacia la derecha. El crecimiento especialmente rápido de las grandes economías asiáticas que fueron pobres en tiempos pasados ha transformado la forma de esa distribución en una curva de un solo pico. Al mismo tiempo, el número total de personas que vivían en la pobreza extrema pasó de 403 millones en 1970 a 152 millones en 2006. Además, en 1970 la mayoría de las personas pobres vivían en Asia, mientras que en 2006

lo hacían en África. Otros estudios, en los que se han utilizado umbrales de pobreza diferentes, han obtenido otras estimaciones de los niveles de pobreza.²¹ No obstante, todos constatan una reducción importante de la pobreza extrema y su desplazamiento en términos geográficos.

Figura 1.4: El crecimiento ha reducido la pobreza extrema



Notas: la línea refleja la distribución mundial de los ingresos en diferentes años. El área entre cada línea y el eje horizontal representa la población mundial en cada uno de esos años. Los ingresos reales se expresan en dólares internacionales del año 2000, y tienen en cuenta las diferencias de poder adquisitivo entre los países.

Fuente: Pinkovskiy y Sala-i-Martin (2009).

1.2 – Cómo contribuye la innovación al crecimiento económico

¿Por qué los niveles de crecimiento varían tanto con el tiempo y de unos países a otros? ¿Qué alimenta el motor del crecimiento económico? Hay pocas cuestiones en el campo de la economía que hayan dado lugar a tanta investigación. En esta sección se examinan los factores de generación de crecimiento económico más importantes, y se presta especial atención a identificar cuáles son los principales mecanismos mediante los que la innovación provoca crecimiento. El análisis realizado se centra en los determinantes a largo plazo del crecimiento económico, e ignora las fluctuaciones cíclicas que llevan a una economía a desviarse temporalmente de su patrón fundamental de crecimiento (en la sección 1.5 se proporcionan más detalles sobre este tema).

El "caballo de batalla" más común que los economistas utilizan para aislar las fuentes de crecimiento a largo plazo es el denominado marco contable del crecimiento,

19. Sala-i-Martin (2006) imputa los datos faltantes mediante estimaciones econométricas y haciendo uso de datos de países vecinos.
20. Lakner y Milanovi (2013), por ejemplo, utilizan datos obtenidos mediante encuestas para calcular los ingresos medios en cada país —en lugar de los datos oficiales que usa Sala-i-Martin (2006)—. El coeficiente Gini que estiman es superior al de Sala-i-Martin, y casi no disminuye con el tiempo. Véase también Pinkovskiy (2013).

21. Véase, por ejemplo, Chen y Ravallion (2004).

generalmente atribuido al ganador del premio Nobel de Economía Robert Solow.²² Este marco descompone el crecimiento económico en dos elementos: primero, un componente atribuible a la acumulación de factores de producción —sobre todo capital y trabajo (ampliado posteriormente para incluir el capital humano)— y, en segundo lugar, un componente que recoge el crecimiento global de la productividad de una economía, también denominado crecimiento de la productividad total de los factores.

El marco de contabilidad del crecimiento explica en cierta medida por qué algunas naciones han crecido más rápido que otras.²³ Por ejemplo, varios estudios empíricos señalan que los elevados niveles de inversión y de incorporación del excedente de población rural a la fuerza de trabajo empleada en el sector formal de la economía explican en gran medida el rápido crecimiento de varios países de Asia Oriental en las últimas décadas.²⁴ Sin embargo, al tratar de entender cómo ha contribuido la innovación tecnológica al crecimiento, el marco de contabilidad del crecimiento se topa con dos limitaciones importantes. La primera es que, aun si es habitual considerar que la innovación tecnológica desempeña un papel fundamental en el crecimiento de la productividad total de los factores, también puede afectar drásticamente en la acumulación de factores de producción, como se explica más adelante. La segunda guarda relación con el hecho de que los estudios empíricos suelen capturar el crecimiento de la productividad total de los factores como crecimiento residual una vez descontados los efectos de los factores de producción. Por ello, no realizan ningún aporte que permita discernir cuáles son los factores concretos que aumentan la productividad de las economías.

No es sencillo establecer con precisión esas relaciones causales. Los efectos de la innovación tecnológica en el comportamiento de las empresas y los trabajadores, y la estructura de la economía son complejos. No obstante, es posible distinguir cuatro mecanismos que permiten a la innovación generar crecimiento (véase la figura 1.5).²⁵ En esta sección se estudian en más detalle esos mecanismos.

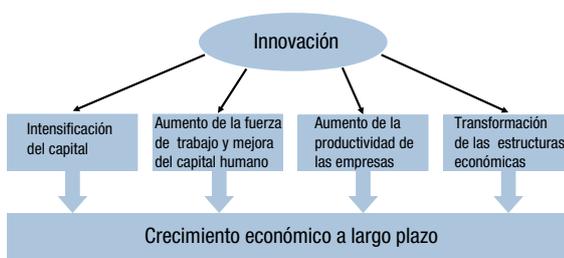
22. Véase Solow (1956; 1957).

23. Véanse, por ejemplo, las pruebas econométricas que presentan Mankiw *et al* (1992).

24. Véase Young (1995; 2003), aunque Nelson y Pack (1999) defienden que los elevados niveles de inversión solo fueron posibles gracias a que esas exitosas economías de Asia Oriental aprendieron a utilizar las nuevas tecnologías de manera eficaz.

25. Maddison (1997) propone una clasificación similar.

Figura 1.5: La innovación estimula el crecimiento a través de varios mecanismos



Intensificación del capital

Las empresas invierten en nuevos bienes de capital en base a los ingresos futuros que esperan generar con esas inversiones. La introducción de nuevas tecnologías puede elevar los retornos de inversión y alentar a las empresas a realizar nuevas inversiones. De forma análoga, las nuevas tecnologías también influyen en las decisiones de inversión en bienes públicos —sobre todo infraestructuras— que adoptan los gobiernos. De hecho, la teoría neoclásica del crecimiento postula que en ausencia de avances tecnológicos, el rendimiento de las inversiones en bienes de capital disminuye y el crecimiento económico tiende a cero.²⁶

Históricamente, la introducción de tecnologías revolucionarias a menudo ha desencadenado grandes aumentos de la inversión, dando lugar a una expansión de la producción. Por ejemplo, la aparición del ferrocarril en el siglo XIX generó enormes inversiones en infraestructura que, por sí solas, dieron lugar a fluctuaciones considerables del producto económico.²⁷ Más recientemente, a medida que comenzó el auge de las TIC en la década de 1990, las empresas estadounidenses aumentaron rápidamente las partidas destinadas a las TIC, especialmente en comparación con otros activos de capital fijo.²⁸ Además, las inversiones en activos intangibles —el establecimiento de nuevos procesos de negocio, bases de datos y otras actividades basadas en el conocimiento— han pasado a representar una parte sustancial de las inversiones totales, y también están vinculadas a la introducción de nuevas tecnologías.

26. Véase Solow (1956).

27. Véase el capítulo 5 de O'Brien (1977).

28. Véase, por ejemplo, Stiroh (2002).

Aumento de la fuerza de trabajo y mejora del capital humano

Históricamente, la innovación ha sido un motor de expansión de la fuerza de trabajo. Los avances en la tecnología de la salud han llevado a un extraordinario aumento de la esperanza de vida. En 1800, la esperanza media de vida al nacer era de menos de 40 años en todas las economías desarrolladas; en 2011, se había elevado por encima de los 75 años, llegando a alcanzar los 83 en el Japón.²⁹ Al reducir la carga de enfermedades crónicas y discapacidades, la tecnología ha contribuido también a mejorar la salud de la fuerza de trabajo (con los consiguientes beneficios en términos de productividad económica).

La innovación también ha desempeñado un papel fundamental a la hora de permitir que más adultos integren la fuerza de trabajo. Por ejemplo, la aparición de la refrigeración, la fontanería de interior, la lavadora, los supermercados y otras innovaciones han liberado a los miembros de la familia —sobre todo mujeres— de tareas domésticas repetitivas, lo que les ha permitido desempeñar una actividad profesional en el sector formal de la economía. De manera similar, la aparición de medios de transporte de masas rápidos ha reducido las barreras geográficas para acceder al mercado de trabajo. Estos factores también han facilitado el acceso a la educación, lo cual ha mejorado la calidad de la fuerza de trabajo. Los avances tecnológicos en ese campo han permitido asimismo que más personas tengan acceso a contenidos educativos y puedan profundizar en su formación, lo cual repercute positivamente en el capital humano de la economía.

Aumento de la productividad de las empresas

La innovación puede afectar a la productividad de las empresas de varias maneras. Las *innovaciones de procesos* pueden aumentar la eficiencia con que los insumos —sobre todo el trabajo— generan productos y servicios. A menudo, ese incremento de la eficiencia se debe a la instalación de nuevos bienes de equipo, como se ha explicado anteriormente. Las mejoras de la productividad resultantes liberan recursos que pueden utilizarse para expandir la producción, ya sea dentro de la propia compañía, en el mismo sector o en cualquier otro lugar de la economía. De manera similar, las innovaciones de procesos que permiten a las empresas conseguir economías de escala hacen

aumentar la producción sin modificar los insumos de capital o trabajo.

La innovación de productos tiene efectos más variados sobre la productividad. Una innovación de ese tipo es la que mejora cualitativamente los productos existentes —por ejemplo, la introducción de computadoras más potentes, baterías de mayor duración y neveras de menor consumo—. Si la producción de las empresas se mantiene en el mismo nivel utilizando los mismos insumos pero la calidad de la producción aumenta, la innovación de productos genera una mejora directa de la productividad de las empresas. Aunque esto es sencillo conceptualmente, la medición de las mejoras de calidad en la producción de toda la economía constituye un desafío importante, como se explica en el recuadro 1.1.

Una segunda vertiente de la innovación de productos es la introducción de nuevos productos que antes no existían. Tales productos pueden ser variedades suficientemente diferenciadas de los existentes —por ejemplo, un nuevo modelo de coche— o avances más significativos, como la primera computadora en forma de tableta. Puesto que la empresa está introduciendo un producto nuevo que no producía previamente, no se puede evaluar el efecto directo de esas innovaciones en la productividad de la empresa. Al igual que en el caso de las mejoras cualitativas, medir correctamente el crecimiento de la economía cuando los nuevos productos llegan al mercado puede ser difícil (véase el recuadro 1.1).

En última instancia, los efectos sobre la productividad de los nuevos productos dependen en gran medida de si los compradores de los nuevos productos son los consumidores finales u otras empresas que utilizan los productos como insumos de producción. En el primer caso, los consumidores de nuevos productos invariablemente ajustan su cesta de consumo, lo que da lugar a cambios en la composición de la producción. No se conoce bien cuáles son los efectos de esos cambios en la productividad. Lo que sí está claro es que, dado que los consumidores compran voluntariamente los nuevos productos disponibles, su bienestar aumenta.

Cuando los nuevos productos son utilizados como insumos intermedios por otras empresas pueden producirse mejoras de la productividad sustanciales.³⁰ Prueba de ello es que la introducción de la electricidad, los viajes de larga distancia a precios asequibles, las

29. Véase Roser (2015).

30. El modelo que utilizan Grossman y Helpman (1991) presenta esas mejoras en la productividad como un aumento de la diversidad de los insumos intermedios.

telecomunicaciones, la informática y muchos otros bienes y servicios han generado históricamente un aumento sustancial de la productividad en las empresas de una amplia gama de sectores.

Finalmente, así como las innovaciones de procesos y productos pueden aumentar la productividad de una empresa, también pueden contribuir a que los gobiernos desempeñen sus funciones de manera más eficiente. En la historia reciente, por ejemplo, la introducción de las TIC en la prestación de servicios gubernamentales —a menudo conocida como “administración electrónica”— ha mejorado notablemente su calidad y rentabilidad.³¹

Recuadro 1.1: Captura de los nuevos productos y servicios en las estadísticas del PIB

La medición del crecimiento económico es posible gracias a los esfuerzos de los estadísticos para cuantificar la producción económica global. Dado que no tiene utilidad alguna sumar cantidades de naranjas y manzanas combinadas —mucho menos cuando se trata de tabletas, carreras de taxi y visitas al médico—, los estadísticos se basan en el valor de mercado de esas cantidades. El PIB de una economía se obtiene multiplicando el precio unitario de cada producto o servicio por la cantidad de veces que se ha consumido, y sumando esos resultados.

El cálculo del denominado *PIB nominal* para un año determinado es relativamente sencillo. Sin embargo, surgen dificultades si uno quiere realizar un seguimiento del producto económico a lo largo del tiempo. Para empezar, los cambios en el PIB nominal pueden reflejar cambios en las cantidades subyacentes, cambios en los precios, o ambas cosas. Por ejemplo, una alta tasa de inflación podría llevar a un aumento considerable del PIB nominal, incluso si las cantidades se mantuviesen inalteradas. Por esa razón, los estadísticos han ideado el concepto de *PIB real*, que mide la cantidad física del producto económico utilizando los precios de un año base determinado.

Sin embargo, la innovación de productos que hace entrar en el mercado nuevos bienes y servicios plantea un intrincado problema. Si esos nuevos productos y servicios no son semejantes a ninguno de los existentes anteriormente, no existen precios de un año base anterior. La única manera de incluirlos en el cálculo del PIB real es actualizar el año base, pero no resulta evidente qué año elegir. Los precios de los bienes y servicios nuevos a menudo experimentan una veloz bajada, y las cantidades aumentan rápidamente, en los primeros años después de su introducción. Así pues, elegir un año base temprano podría exagerar el crecimiento del PIB real. Por esa y otras razones, las oficinas de estadística de muchos países han adoptado la metodología conocida como de ponderación en cadena para la medición del PIB real, en la que se procede a una actualización implícita anual del año base.

31. El Gobierno de Australia ha publicado un completo estudio que describe los beneficios en términos de calidad y eficiencia de la administración electrónica. Puede consultarse en www.finance.gov.au/agimo-archive/_data/assets/file/0012/16032/benefits.pdf.

Si los nuevos bienes y servicios reflejan mejoras en la calidad de los ya existentes, se dispone de precios de un año base anterior.³² Sin embargo, comparar las cantidades de los nuevos bienes y servicios con las de los antiguos sería engañoso. Por ejemplo, si las cantidades fuesen cajas de fresas, es obvio que habría que realizar ajustes para compensar los cambios en el peso de las cajas de un año a otro. Del mismo modo, si uno fuera a contar cajas de ordenadores, se deberían realizar ajustes para compensar el aumento de la potencia de procesamiento de cada caja respecto al año precedente.³³ Los expertos en estadística han ideado métodos para realizar esos ajustes cualitativos. Usando técnicas hedónicas y de modelo adaptado se pueden estimar índices de precios hipotéticos que capturan los cambios en el precio de bienes y servicios, manteniendo constantes sus características cualitativas. Esos índices de precios se utilizan para deflactar los valores del PIB nominal y generar una medición del PIB real que incorpora las mejoras cualitativas.³⁴

La ponderación en cadena y las técnicas hedónicas son herramientas útiles para dar cabida a la innovación de productos en la medición del PIB. Sin embargo, no son perfectas.³⁵ Su principal desventaja es que dependen de la capacidad de las oficinas de estadística para cuantificar y recopilar datos sobre una gran variedad de atributos cualitativos de bienes y servicios. Incluso las oficinas que disponen de más recursos solo aplican ajustes hedónicos a un conjunto limitado de bienes y servicios. Por otra parte, ciertas mejoras cualitativas no son fácilmente cuantificables, por ejemplo las innovaciones que conducen a mejoras en la seguridad, la sostenibilidad y la calidad de vida en general.

Por último, es importante señalar que el crecimiento del PIB real refleja solo parcialmente las mejoras que la innovación de productos aporta al bienestar. En parte, esto se debe a la imperfección de las mediciones, como se acaba de describir. Pero más importante aún es que el crecimiento del PIB pretende medir únicamente la evolución del producto económico a lo largo del tiempo, no cómo valoran los consumidores —y la sociedad en general— cualquier expansión de la producción. Si bien hay buenas razones por las que cabría esperar que existiese una correlación entre el producto económico y el bienestar, son conceptos fundamentalmente diferentes.

Fuentes: Landefeld y Parker (1997), Landefeld y Grimm (2000) y Naciones Unidas (2009).

32. En la práctica, la distinción entre un producto nuevo y un producto de mejor calidad puede resultar ambigua. Por ejemplo, el añadido de una nueva funcionalidad a un producto puede considerarse como una mejora cualitativa; no obstante, si la nueva funcionalidad es suficientemente importante para dar lugar a nuevos usos del producto, podría considerarse que se trata de un producto enteramente nuevo. Esta ambigüedad complica aún más la medición. Véase OECD (2001).
33. Este ejemplo está tomado de Landefeld y Grimm (2000).
34. Otro desafío importante relacionado con la medición es qué tipos de actividades creativas y de innovación de las empresas deben considerarse como consumo intermedio y cuáles deben consignarse como inversiones en activos. Por ejemplo, el Sistema de Cuentas Nacionales 2008 admite que las partidas destinadas a I+D y programas informáticos se clasifiquen como inversiones en activos fijos (véase unstats.un.org/unsd/nationalaccount/sna2008.asp). Es posible que se añadan otros activos intangibles en el futuro.
35. Puede consultarse de qué críticas metodológicas han sido objeto en Hulten (2003).

Transformación de las estructuras económicas

La innovación afecta profundamente al crecimiento de las empresas. Igual o más importante es que, con frecuencia, la innovación da lugar a transformaciones estructurales profundas. A medio y largo plazo, ese tipo de transformaciones afectan a la productividad económica de varias maneras.

En primer lugar, las nuevas tecnologías pueden transformar industrias enteras, y provocar la salida del mercado de algunas empresas y la entrada de otras. Además, la intensidad de la competencia puede cambiar. En muchos casos, esos cambios propician la aparición de mejoras en la eficiencia que favorecen el crecimiento, y la redistribución de los factores de producción. La existencia de una competencia vibrante puede estimular la difusión de tecnologías y la innovación futura.³⁶ Sin embargo, ese resultado no es seguro; la tecnología puede también dar lugar a una mayor concentración industrial, que en ocasiones genera preocupación —o da lugar a intervenciones— por parte de las autoridades de la competencia.³⁷

En segundo lugar, la innovación tecnológica suele provocar una reorganización de las cadenas de suministro. Por lo general, dicha reorganización hace que las empresas desarrollen competencias técnicas únicas y se especialicen en la producción de bienes y servicios destinados a una variedad de compañías, tanto dentro de una misma industria como transversalmente, en una variedad de sectores. El aumento de la especialización puede dar lugar a mejoras importantes en la eficiencia, que se traducen en un aumento de la productividad en el conjunto de la economía. La innovación tecnológica también ha facilitado la globalización de las cadenas de suministro. La participación de una gama más amplia y diversa de proveedores internacionales amplifica las ganancias de productividad asociadas al aumento de la especialización.

En tercer lugar, a medida que la innovación tecnológica genera una actividad económica, propicia también el declive de las actividades anteriores. Por ejemplo, la llegada de los automóviles reemplazó a los caballos como medio de transporte, y eliminó la necesidad de un gran número de trabajadores para limpiar las calles de boñigas. Del mismo modo, la introducción de la tecnología telefónica que permitía la marcación directa hizo que la labor de numerosas telefonistas pasase a ser redundante. A corto y medio plazo, esas perturbaciones provocadas por la tecnología pueden ocasionar penurias para los trabajadores que pasan a ser redundantes. No obstante, a largo plazo, la reorientación de esas personas hacia sectores económicos en expansión constituye una de las vías más importantes de generación de crecimiento que presenta la innovación.

Como se muestra en la figura 1.2, el progreso tecnológico ha propiciado un desplazamiento sustancial de la agricultura y la industria hacia el sector servicios. Esto se debe a que el aumento de la productividad en la industria y la agricultura respecto a su promedio histórico ha sido muy superior al de los servicios que comportan una utilización intensiva de capital humano.³⁸ Así pues —aunque pueda parecer contradictorio—, la agricultura y la industria han liberado a trabajadores que han encontrado empleo gracias al crecimiento del sector servicios.³⁹ Desde esta perspectiva, la contracción del sector industrial no constituye un síntoma preocupante de “desindustrialización” —como a veces se argumenta— sino una consecuencia natural del progreso tecnológico.

36. Aghion *et al* (2005) exploran formalmente qué interacciones existen entre la competencia y la innovación. Véase también la sección 1.3, que trata del crecimiento endógeno.

37. Las telecomunicaciones (AT&T), los sistemas operativos informáticos (Microsoft) y los motores de búsqueda en línea (Google) son algunos ejemplos de industrias en las que la tecnología ha tenido mucha influencia y que han sido escudriñadas por las autoridades de la competencia.

38. Véase Baumol (1967) y Baumol *et al* (1985), aunque el último de estos artículos también señala la existencia de heterogeneidad en el sector de servicios, en el que algunas actividades como las comunicaciones y la difusión audiovisual han experimentado un rápido aumento de la productividad.

39. Puede argumentarse que el crecimiento del sector de servicios no solo se debe al progreso tecnológico, sino también al aumento de la demanda de servicios —entre los que figuran la educación, la salud, los viajes y el entretenimiento— que genera la mayor prosperidad de las economías.

Recuadro 1.2: Contribución al crecimiento de innovaciones pasadas

Los estudios que tratan de cuantificar la contribución al crecimiento de innovaciones específicas se han basado principalmente en el marco de contabilidad del crecimiento al que se alude en la sección 1.2. Esos estudios evalúan la contribución del crecimiento a través de dos componentes: (i) la intensificación del capital, que se mide por el crecimiento de los insumos de capital asociados a una innovación particular, y (ii) el crecimiento de la productividad total de los factores en el sector que produce los bienes asociados a la innovación.

Dos de los estudios que han adoptado este marco son el de Crafts (2004), sobre el impacto de la tecnología de la máquina de vapor en el crecimiento económico británico a finales del siglo XVIII y durante el siglo XIX, y el de Oliner y Sichel (2003), sobre el impacto de las TIC en el crecimiento de los EE.UU. en el último cuarto del siglo XX. En el cuadro 1 se presentan las estimaciones resultantes de esos estudios, expresadas en forma de contribuciones porcentuales anuales al crecimiento de la productividad laboral.

El estudio de Crafts utiliza el aumento de la potencia en caballos asociado a la introducción de la tecnología de la máquina de vapor para medir la intensificación del capital. Aunque la máquina de vapor de James Watt fue patentada en 1769, las estimaciones de Crafts indican que su contribución al crecimiento de la productividad laboral no superó el 0,02% anual hasta 1830. A continuación,

aumentó hasta el 0,04% (1830-50), el 0,12% (1850-70) y el 0,14% (1870-1910). Estas estimaciones ilustran que el impacto de la máquina de vapor llegó con retraso pero fue duradero.

Para cuantificar la intensificación del capital, el estudio de Oliner y Sichel mide el aumento de las inversiones en TIC —equipos y programas informáticos, y equipos de comunicación—. Sus estimaciones apuntan a una mayor contribución al crecimiento global que en el caso de la tecnología de la máquina de vapor, especialmente en la segunda mitad de la década de 1990. Además, la mayor parte de esa contribución al crecimiento se debe a la intensificación del capital —el mayor uso de las TIC en toda la economía—. Como sucedió con la máquina de vapor, el impacto de las TIC en el crecimiento tardó en materializarse, aunque comparativamente el retraso fue mucho menor.

Las estimaciones anteriores subestiman la contribución al crecimiento de las nuevas tecnologías, sobre todo porque el método de estimación captura únicamente el crecimiento de la productividad total de los factores en los sectores que producen esas tecnologías. Ignora los posibles efectos indirectos en materia de productividad en otros sectores de la economía. En el caso de la tecnología de la máquina de vapor, Crafts considera que tales externalidades pueden haber sido significativas después de 1850. Al mismo tiempo, los efectos cíclicos pueden sesgar las estimaciones presentadas en el cuadro 1 y, en concreto, causar una sobreestimación de la contribución de las TIC en la segunda mitad de la década de 1990 (Gordon, 2000).

Cuadro 1: Contribuciones al crecimiento de la tecnología de la máquina de vapor y las TIC

	Tecnología de la máquina de vapor en Gran Bretaña					TIC en EE.UU.		
	1760-1800	1800-30	1830-50	1850-70	1870-1910	1974-90	1991-95	1996-2001
Intensificación del capital	0,004	0,02	0,02	0,06	0,09	0,41	0,46	1,02
Productividad total de los factores	0,005	0,001	0,02	0,06	0,05	0,27	0,41	0,77
Contribución total	0,01	0,02	0,04	0,12	0,14	0,68	0,87	1,79

Fuente: Oliner y Sichel (2003), y Crafts (2004).

1.3 – La innovación de vanguardia y su difusión

Como acabamos de ver, la innovación desempeña un papel fundamental en la generación de crecimiento sostenido. Pero, ¿cuánto crecimiento es atribuible a cada innovación? La infografía que se reproduce al final del informe muestra algunas de las innovaciones revolucionarias más destacadas de los últimos 200 años superpuestas al patrón de crecimiento de las economías más avanzadas que aparece en la figura 1.1. Se presenta a título ilustrativo, y la selección de las tecnologías es subjetiva.

Desafortunadamente, es difícil establecer un vínculo preciso entre el crecimiento histórico y las diferentes innovaciones, por al menos dos razones. En primer lugar, la multiplicidad y complejidad de los canales de transmisión descritos en la sección 1.2, y el impacto simultáneo de varias tecnologías hacen que sea difícil

aislar la contribución de una única innovación. En segundo lugar, la adopción de las tecnologías requiere tiempo, y estas evolucionan, lo que hace que cualquier intento de atribución causal resulte problemático. A pesar de esas dificultades, algunos estudios han cuantificado —al menos parcialmente— los aportes de determinadas innovaciones históricas al crecimiento de algunos países (véase el recuadro 1.2).

De manera más general, los economistas han avanzado mucho en la comprensión de dos cuestiones fundamentales para entender el nexo entre la innovación y el crecimiento:

- ¿Qué posibilita la innovación de vanguardia?
- ¿Cómo se difunde la tecnología de una economía a otra?

Esta sección resume los principales puntos de vista sobre estas dos preguntas.

¿Qué posibilita la innovación de vanguardia?

A principios del siglo XIX, eran principalmente los inventores individuales y los pequeños emprendedores los autores de innovaciones tecnológicas. Con el cambio de siglo, surgieron los sistemas de innovación modernos, en los que una variedad de organizaciones —entre ellas instituciones científicas, grandes empresas con una elevada inversión en I+D y nuevas compañías emprendedoras— colaboran entre sí para hacer avanzar las fronteras del conocimiento.

Los avances tecnológicos revolucionarios se han producido en gran parte como resultado de tres factores. En primer lugar, los descubrimientos científicos han sido fundamentales para proporcionar las bases de innovaciones comerciales. Por citar solo un ejemplo, el desarrollo de la pantalla de cristal líquido se basó en los avances científicos que se produjeron en el campo de la química orgánica. En segundo lugar, las necesidades de los gobiernos —sobre todo en el ámbito de la defensa— han sido un ímpetu clave para el desarrollo de muchas tecnologías para las cuales más tarde se encontraron aplicaciones civiles. Por último, las necesidades del mercado y las dinámicas competitivas han llevado a las empresas a invertir en el desarrollo de nuevas tecnologías para obtener una ventaja sobre sus rivales.

La búsqueda de explicaciones acerca de por qué las economías invierten en innovación y qué implicaciones tienen esas inversiones para la trayectoria de crecimiento de la economía ha sido un campo prolífero en la ciencia económica. Curiosamente, la teoría neoclásica del crecimiento —uno de los primeros intentos de modelar formalmente el proceso de crecimiento— no tiene en cuenta qué da lugar al progreso tecnológico, sino que se limita a demostrar que el crecimiento se estancaría sin él. Este inconveniente proporcionó un aliciente para la formulación de la *teoría del crecimiento endógeno*, que incorpora explícitamente incentivos a la innovación en los modelos de crecimiento económico. Así, según los modelos formales de crecimiento endógeno, las empresas invierten en I+D para generar beneficios futuros y evitar ser superadas por sus competidores, principalmente mediante la introducción de productos nuevos o mejorados. La competencia entre empresas genera una carrera de innovación dinámica que lleva a un aumento sostenido de la productividad. Estos modelos capturan una característica clave de las actuales industrias basadas en el conocimiento: las empresas invierten en activos

intangibles —no solo I+D, sino también diseño, programas informáticos, formación de los trabajadores y capacidad organizativa— y presentan con frecuencia nuevos productos que sustituyen a otros anteriores. De hecho, los datos disponibles ponen de relieve la importancia porcentual de las inversiones en activos intangibles respecto a las inversiones empresariales totales (véase el recuadro 1.3).

Sin embargo, algunos economistas han criticado la teoría del crecimiento endógeno por considerarla demasiado mecanística.⁴⁰ Esta crítica se centra en que los modelos de crecimiento endógeno, si bien reconocen que los resultados de la actividad innovadora son inciertos, suponen que adoptan una distribución probabilística determinada. Sin embargo, muchas innovaciones revolucionarias de gran impacto han visto la luz de manera fortuita, lo cual implica que no formaban parte de un abanico de resultados conocidos de antemano.

En respuesta a esa crítica, una segunda rama teórica sobre el crecimiento —la teoría del crecimiento evolutivo— hace hincapié en las circunstancias históricas específicas de la actividad innovadora y la complejidad de las interrelaciones, que obedecen a mecanismos causales que varían con el paso del tiempo.⁴¹ Según la teoría del crecimiento evolutivo, las empresas no pueden prever todas las posibilidades tecnológicas y recurrir a "reglas de oro" cuando buscan innovar. El progreso tecnológico es un proceso de selección en el que las fuerzas del mercado y otras instituciones económicas desempeñan un papel fundamental.

40. Véase el aporte esencial de Nelson y Winter (1982), y la reseña bibliográfica de Verspagen (2004).

41. Véase Verspagen (2004).

Recuadro 1.3: Inversión en activos intangibles

La teoría del crecimiento endógeno subraya la importancia de la inversión en activos intangibles en las industrias basadas en el conocimiento. Sin embargo, cuantificar esas inversiones y compararlas con las inversiones en activos tangibles siempre ha sido difícil. Tradicionalmente, los estados financieros y las cuentas nacionales han clasificado las actividades intangibles como insumos intermedios, y no como inversiones. Los métodos estándar de contabilización de las inversiones de las empresas se centran en activos tangibles como instalaciones, bienes de equipo y vehículos.

Para establecer un mapa más completo de los tipos de inversión empresarial, los investigadores han elaborado un nuevo marco de medición que clasifica así los activos intangibles (Corrado *et al*, 2012):

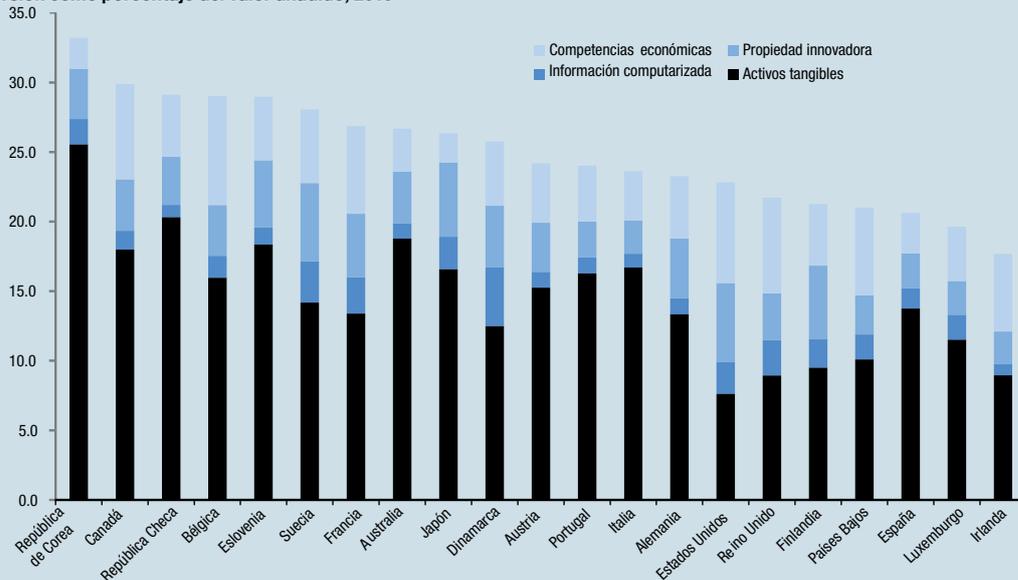
1. Información computarizada
 - Programas informáticos
 - Bases de datos

2. Propiedad innovadora
 - Exploración mineral
 - I+D científico
 - Originales artísticos y de entretenimiento
 - Nuevos productos/sistemas financieros
 - Diseño y otros productos/sistemas nuevos
3. Competencias económicas
 - Valor de marca (publicidad; investigaciones de mercado)
 - Recursos específicos de la empresa (formación proporcionada por la empresa; estructura organizativa)

Actualmente, se dispone de estimaciones sobre las inversiones en activos intangibles basadas en este marco para un gran número de economías desarrolladas (véase la figura 1.6). Los resultados muestran que los activos intangibles representan un porcentaje considerable del total de inversiones de las empresas (más de un 50% en Dinamarca, Finlandia, Francia, los Países Bajos, el Reino Unido y los EE.UU.).

Figura 1.6: La inversión en activos intangibles representa porcentajes sustanciales de la inversión total de las empresas

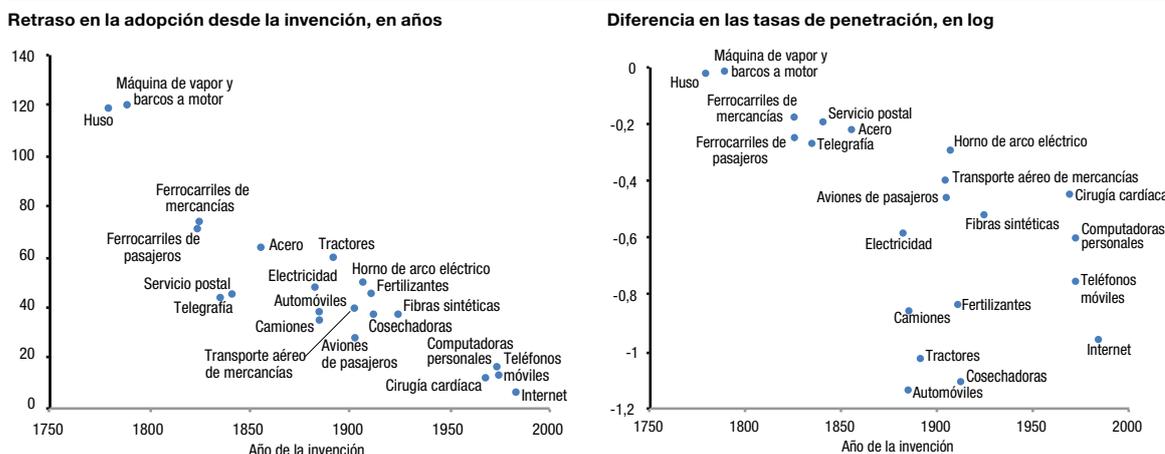
Inversión como porcentaje del valor añadido, 2010



Nota: En el caso del Canadá, el Japón y la República de Corea, las estimaciones hacen referencia al año 2008.

Fuente: OCDE (2013), figura 1.28.

Figura 1.7: Una difusión de tecnologías más rápida pero menos generalizada



Notas: El retraso de adopción desde la aparición de la invención captura el retraso de adopción medio en todos los países para cada tecnología. La diferencia en las tasas de penetración recoge la diferencia promedio de los niveles de penetración en el grupo de "países occidentales" de Comin y Mestieri. Para facilitar la representación, en los dos gráficos se omiten varias tecnologías.

Fuente: Comin y Mestieri (2013).

De acuerdo con el enfoque evolutivo, la innovación tiene lugar de forma incremental y la dirección del cambio solo se hace evidente con el tiempo. A pesar de ocasionales momentos "eureka" y avances radicales, incluso las innovaciones revolucionarias tardaron años o décadas en desarrollarse, e hicieron falta muchas etapas intermedias de carácter incremental. Además, para que su impacto se ampliase a toda la economía fue preciso que las empresas aprendiesen cómo utilizar las nuevas tecnologías, que efectuasen inversiones de capital y que reorganizasen sus operaciones comerciales. De hecho, es frecuente que la adopción de nuevas tecnologías genere innovaciones complementarias a nivel organizativo y de modelo de negocio que, en sí mismas, conllevan mejoras de la productividad considerables. La infografía al final del informe presenta dos innovaciones revolucionarias de este tipo: la fabricación "justo a tiempo" y el código de barras.

La innovación incremental también es básica para el florecimiento de las llamadas tecnologías de interés general.⁴² Aunque no existe una definición uniforme, el concepto de tecnologías de interés general engloba las tecnologías que tienen una amplia variedad de usos y encuentran aplicación en un gran número de sectores

económicos, y que presentan importantes complementariedades con las nuevas tecnologías existentes o potenciales, lo que las convierte en un terreno propicio para continuar innovando. La mayoría de los autores consideran que la máquina de vapor, el ferrocarril, el automóvil, la electricidad y las TIC son ejemplos destacados de tecnologías de interés general.⁴³ Estudios históricos sobre dichas tecnologías han demostrado su importancia para estimular el crecimiento, pero también han constatado que con frecuencia ese estímulo se produce con un largo retraso —estimado, por ejemplo, en 80 años en el caso de la máquina de vapor (véase el recuadro 1.2), y en 40 años en el de la electricidad—. ⁴⁴ Recientes investigaciones sobre el crecimiento endógeno han observado la existencia de una relación entre la aparición y adopción de las tecnologías de interés general, y los ciclos de crecimiento económico de larga duración, que explica los brotes de crecimiento y las desaceleraciones económicas observados a lo largo de la historia. Curiosamente, la previsión de los ciclos de crecimiento es muy similar al concepto de "ondas largas" (también denominadas ondas de Kondratiev) que aparece en los primeros trabajos de la teoría evolutiva, especialmente en las investigaciones de Joseph Schumpeter.⁴⁵

42. Bresnahan y Trajtenberg (1995) acuñaron la expresión "General purpose technologies" (tecnologías de interés general) aunque es similar a los conceptos de "innovación básica" y "paradigma tecnológico" que se emplean en la literatura del crecimiento evolutivo (Verspagen, 2004).

43. Sin embargo, ni siquiera hay consenso acerca de esas cinco tecnologías. Por ejemplo, Crafts y Mills (2004) cuestionan que la máquina de vapor deba ser considerada una tecnología de interés general.

44. Véase Crafts (2004) para la máquina de vapor y David (1990), para la electricidad.

45. Véase Schumpeter (1939). De hecho, fue Schumpeter

Si bien el reciente enfoque en las tecnologías de interés general apunta a una cierta convergencia entre la teoría del crecimiento endógeno y la evolutiva, ambas siguen discrepando sobre los fundamentos del proceso de crecimiento.⁴⁶ La primera lo ve como un proceso determinista que se mantiene esencialmente estable a lo largo del tiempo; la segunda, como un proceso que está estrechamente ligado a la naturaleza de la tecnología y que, por lo tanto, cambia con el tiempo. Esta diferencia tiene implicaciones importantes a la hora de diseñar políticas de promoción del crecimiento. Mientras que los modelos de crecimiento endógeno pueden formular recomendaciones de política sobre la base de principios fundamentales, los enfoques evolutivos advierten que determinadas políticas que resultan adecuadas en un paradigma tecnológico pueden no serlo en otro.

¿Cómo se difunde la tecnología de una economía a otra?

Hasta el momento, nos hemos centrado en examinar los aportes de las innovaciones de vanguardia, sin tener en cuenta su origen. Sin embargo, raras son las innovaciones íntegramente de cosecha propia. Basándose en los datos de presentación internacional de patentes, Eaton y Kortum (1994) estiman que en las economías desarrolladas, las ideas son muy móviles; incluso para una gran economía como los EE.UU., observaron que cerca de la mitad del aumento de la productividad proviene de la tecnología extranjera. Pero, ¿con qué facilidad se difunde realmente la tecnología de unas economías a otras, especialmente a las menos desarrolladas?

Esta cuestión es importante. Como se describe en la sección 1.1, en los últimos 200 años hemos asistido a una divergencia de los niveles mundiales de prosperidad. Habida cuenta del papel de la innovación como motor de crecimiento a largo plazo, ¿es posible que la imperfecta difusión de tecnologías sea una de las causas de los niveles divergentes de prosperidad económica?

Estudios recientes sobre los patrones de difusión de tecnologías ofrecen una respuesta ambivalente. Por una parte, apuntan a que las innovaciones tecnológicas más recientes se han difundido más rápidamente a países de ingresos medianos y bajos. Comin y Mestieri (2013) han recabado datos sobre 25 innovaciones tecnológicas radicales desde finales del siglo XVIII y su adopción en hasta 132 países. Los resultados indican que el tiempo medio transcurrido entre la aparición y la adopción de esas tecnologías ha disminuido notablemente en los últimos 200 años (véase el primer gráfico de la figura 1.7). Lo más espectacular es que tecnologías recientes como la telefonía móvil e Internet llegaron a las economías en desarrollo pocos años después de su introducción en las economías desarrolladas.

Por otro lado, Comin y Mestieri también han examinado con qué intensidad han utilizado las nuevas tecnologías diversas economías una vez introducidas. En concreto, han estimado las tasas de penetración a largo plazo para un mismo tipo de tecnologías, y han estudiado cómo han evolucionado con el tiempo esas diferencias en los índices de penetración. Sus observaciones apuntan a que con las innovaciones más recientes, la diferencia en el grado de penetración de esas tecnologías entre los países avanzados y las economías en desarrollo ha aumentado (véase el segundo gráfico de la figura 1.7). A primera vista, ese resultado parece sorprendente, si se tiene en cuenta, por ejemplo, la amplia adopción de la telefonía móvil e Internet en la mayor parte de las economías en desarrollo. Sin embargo, esas tecnologías han encontrado todavía más usos en las economías desarrolladas, y la brecha de penetración en comparación con las tecnologías anteriores resulta ser mayor.⁴⁷

quien acuñó el término "onda de Kondratiev" en honor al soviético Nikolai Kondratiev, primer economista en destacar la importancia de las fluctuaciones del producto económico.

46. Véase Verspagen (2004).

47. Comin y Mestieri (2013) muestran cómo sus estimaciones sobre los patrones de difusión de tecnologías explican un 80% de la divergencia de ingresos entre países ricos y pobres desde 1820.

Aun si aceptamos la existencia de esos patrones generales, el grado de difusión difiere enormemente de una tecnología a otra, y entre diferentes países receptores. Para empezar, hay una gran variedad de canales de difusión, entre los que cabe destacar el comercio internacional, la inversión extranjera directa (IED), la concesión directa de licencias tecnológicas, la migración de trabajadores cualificados y los flujos transfronterizos de información. Algunos de ellos son más “fluidos” que otros. Cuando la tecnología va incorporada directamente en bienes y servicios, la importación de esos bienes y servicios puede ser muy beneficiosa para un país. Por ejemplo, tecnologías importantes en el campo de la salud —tales como vacunas, antibióticos y mosquiteras— se han adoptado ampliamente en países de ingresos medianos y bajos; y se les atribuye haber contribuido a mejorar sustancialmente la calidad de vida, incluso en países pobres con poco crecimiento económico.⁴⁸

Sin embargo, un elemento crucial para el éxito de la difusión de tecnologías en estos casos es que los países receptores no necesitan comprender plenamente la tecnología para aplicarla. En el caso de muchas otras innovaciones, tal comprensión puede ser necesaria, y es posible que se precisen importantes competencias organizativas e inversiones sustanciales en equipos complementarios e infraestructura para que su introducción tenga éxito. Así pues, los economistas hacen hincapié en el papel fundamental de la *capacidad de absorción* para que la difusión de tecnologías tenga éxito. Para que una economía disponga de una capacidad de absorción efectiva suficiente, debe contar con un capital humano capaz de entender y aplicar la tecnología en cuestión, con el saber hacer organizativo y de gestión necesario, y con las instituciones precisas para coordinar y movilizar los recursos que exige la adopción de la tecnología. En muchos casos, esa capacidad de absorción implica también poder desarrollar innovaciones tecnológicas y organizativas menores para adaptar la tecnología a las necesidades locales. Así, puede decirse que la diferencia entre capacidad de absorción y capacidad innovadora se desdibuja.

Algunos países han tenido más éxito que otros a la hora de dotarse de capacidad de absorción. Así, los economistas atribuyen al menos parcialmente el éxito de los países de Asia Oriental que han experimentado un rápido crecimiento a su capacidad para iniciar un proceso de absorción y aprendizaje tecnológicos que sirvió de base para su desarrollo económico y permitió un crecimiento convergente.⁴⁹ Sin embargo, continúa siendo objeto de debate qué combinación precisa de políticas contribuye de manera óptima a desarrollar la capacidad de absorción. Cabe señalar que muchas de las políticas que aparentemente tuvieron éxito en esa región —por ejemplo, la protección del comercio o los requisitos en materia de préstamos y transferencia de tecnologías impuestos por el Estado en los contratos de IED— no produjeron los mismos resultados cuando se aplicaron a otras economías en desarrollo, sobre todo en África y América Latina. Esto sugiere que la combinación idónea de políticas puede depender esencialmente del contexto económico e institucional del país en desarrollo de que se trate, y del paradigma tecnológico vigente —como defiende la teoría del crecimiento evolutivo para las políticas de promoción del crecimiento (véanse los párrafos precedentes de esta sección)—.⁵⁰

1.4 – La innovación y los derechos de P.I.

Como se ha descrito en la sección anterior, a comienzos de la revolución industrial, los innovadores eran principalmente inventores individuales y pequeños emprendedores. Por lo tanto, el ámbito en que los economistas de la época podían estudiar los factores que estimulan la actividad innovadora estaba bastante acotado. Así, Adam Smith observa en su famosa obra *La Riqueza de las Naciones* que “[una] gran parte de las máquinas [...] fueron inventadas originalmente por trabajadores corrientes, quienes, al estar empleados en tareas muy simples, es normal que dedicasen su atención a buscar cómo realizarlas con más facilidad y eficiencia”.⁵¹

48. Véase Kenny (2011) y la sección 2.2 sobre las repercusiones de los antibióticos en la salud pública.

49. Véase Nelson y Pack (1999).

50. Fagerberg y Godinho (2004) examinan las diferentes posturas existentes sobre las políticas de crecimiento convergente.

51. Véase Smith (1776).

La aparición de sistemas de innovación más organizados en el siglo XX dio lugar a una proliferación de la investigación académica sobre la naturaleza de los procesos de innovación y la función de los gobiernos en el apoyo de las actividades innovadoras en las economías de mercado. El pensamiento económico se vio galvanizado por dos importantes ideas atribuidas a Kenneth Arrow, galardonado con el premio Nobel de economía.⁵²

- La actividad innovadora es arriesgada. Cuando uno se embarca en un ejercicio de búsqueda de soluciones, no se tiene la certeza de que realmente existe una.
- La información sobre cómo solucionar un problema posee características de lo que los economistas denominan bien público: muchas personas pueden utilizarlo simultáneamente, y a menudo la persona que da respuesta al problema no puede evitar que se reproduzca la información. Esta característica se conoce también como el *dilema de la apropiabilidad* de la actividad innovadora.

Arrow llegó a la conclusión de que, debido a esas dos dificultades y en ausencia de influencias externas, los mercados invertirían en innovación menos de lo que es deseable para la sociedad. Para evitar malgastar recursos en el caso de que un ejercicio de búsqueda de soluciones a un problema no tenga éxito, es posible que las empresas que operan en mercados competitivos renuncien a oportunidades de innovación; y si los competidores pueden beneficiarse inmediata y gratuitamente de las soluciones encontradas, los beneficios obtenidos por la empresa innovadora pueden ser exiguos.

Esta deficiencia de los mercados ha propiciado la aparición de diversas formas de intervención gubernamental que han modelado los sistemas de innovación modernos. A grandes rasgos, estas intervenciones pueden clasificarse en tres categorías.⁵³ En primer lugar, los gobiernos apoyan con fondos públicos la investigación en universidades e instituciones públicas de investigación. Es frecuente que estas organizaciones lleven a cabo investigación fundamental —que hace avanzar la frontera del conocimiento—, y que sus aplicaciones comerciales no siempre resulten evidentes. En segundo lugar, los gobiernos financian las actividades de I+D de empresas privadas mediante

licitaciones públicas, subvenciones destinadas a I+D, desgravaciones fiscales, premios, préstamos preferenciales y mecanismos similares. Algunos mecanismos de apoyo van destinados a ámbitos tecnológicos específicos, por ejemplo defensa nacional, mientras que otros son más generales, y permiten que la dirección que toma la I+D refleje las decisiones de las empresas. Por último, los gobiernos otorgan derechos de P.I. para estimular el flujo de financiación privada hacia la I+D que llevan a cabo las organizaciones privadas. En esta sección se examinará más pormenorizadamente cómo influyen en la actividad innovadora los diferentes tipos de protección de la P.I. Para ello, se utiliza información extraída de Informes Mundiales sobre la Propiedad Intelectual anteriores, que presentan en más detalle muchos de los puntos que se tratan a continuación.⁵⁴

Derechos de P.I. e incentivos a la innovación

La legislación en materia de P.I. permite que individuos y organizaciones obtengan derechos exclusivos sobre elementos innovadores o creativos. Los derechos de propiedad sobre activos intelectuales limitan hasta qué punto los competidores pueden utilizar gratuitamente esos activos, lo que permite a las empresas obtener un beneficio de la actividad innovadora y mitiga el problema de la apropiabilidad. Los mecanismos de protección de la P.I. más pertinentes en el caso de la apropiabilidad son las patentes, los modelos de utilidad, los diseños industriales, los derechos sobre obtenciones vegetales, los derechos de autor y los secretos comerciales.⁵⁵

52. Véase Arrow (1962).

53. Véase el recuadro 2.2 en OMPI (2011).

54. Véanse OMPI (2011) y OMPI (2013).

55. Goodridge et al (2014) asocian varias formas de P.I. al marco de inversión en activos intangibles que se reproduce en el recuadro 1.3. Sus resultados indican que la mitad de las inversiones relacionadas con el conocimiento que se realizaron en el Reino Unido en 2011 estaban protegidas por derechos de P.I., sobre todo derechos de autor, marcas y derechos sobre diseños no registrados.

Varias encuestas confirman que muchas empresas consideran importante la P.I. a la hora de proteger los potenciales beneficios de sus inversiones en I+D. Sin embargo, la importancia concedida varía sustancialmente dependiendo del tipo de industria. En algunas, como la farmacológica y la química, los derechos de P.I. son esenciales para el modelo de negocio; en otras, las empresas utilizan mecanismos alternativos para extraer beneficios de la I+D, por ejemplo la introducción de productos nuevos antes que los competidores y la generación de una percepción positiva entre los consumidores mediante el desarrollo de la marca. De hecho, la importancia de cultivar la reputación de la marca subraya el papel indirecto que otra forma de protección de la P.I. —las marcas comerciales— desempeña en el fomento de la innovación. La protección que proporcionan las marcas registradas hace que los consumidores confíen en que están adquiriendo lo que pretendían adquirir, algo esencial para la efectividad de las campañas de desarrollo de la marca.

Los derechos de P.I. incentivan que sean las fuerzas del mercado las que guíen la innovación. Permiten que la toma de decisiones sobre qué oportunidades de innovación explotar se realice de manera descentralizada. Puesto que los individuos y las empresas que se encuentran a la vanguardia de la tecnología son los más indicados para evaluar las probabilidades de éxito de los proyectos innovadores, el sistema de P.I. fomenta una distribución eficiente de los recursos en el ámbito de la innovación.

Aun si tradicionalmente esta ha sido la principal justificación económica para proteger los derechos de P.I., estos pueden afectar a la innovación de otras maneras. En primer lugar, si bien los derechos de P.I. no resuelven directamente el problema del riesgo asociado a la actividad innovadora, pueden mejorar el funcionamiento de los mercados financieros a la hora de movilizar recursos para la innovación arriesgada. Por ejemplo, hay datos que sugieren que la concesión de una patente en una etapa temprana del proceso de innovación puede servir para tranquilizar a los inversores de que una empresa nueva estará en condiciones de generar beneficios si la innovación se comercializa con éxito.⁵⁶

Además, aunque en ocasiones innovar significa encontrar soluciones a problemas aislados, es más frecuente que se trate de un proceso acumulativo por el que los

investigadores se basan en el conocimiento existente para desarrollar nuevas tecnologías o productos. Los derechos de P.I., especialmente las patentes, desempeñan un papel importante en el proceso de innovación acumulativa. Los solicitantes de patentes deben divulgar información sobre cómo permite la invención resolver el problema. Esto fomenta la divulgación rápida de nuevos conocimientos tecnológicos, y permite que otros inventores los utilicen.⁵⁷

También es cierto que las patentes pueden, en determinadas circunstancias, obstaculizar la innovación acumulativa. A veces, la comercialización de una innovación requiere el uso de tecnología de terceros protegida por derechos de P.I., y estos pueden negarse a conceder licencias sobre sus tecnologías o exigir regalías que anulen la rentabilidad potencial de la innovación (con los consiguientes problemas de “cautividad”). Incluso cuando esas terceras partes están dispuestas a conceder licencias, coordinar la participación de un gran número de titulares de derechos puede resultar demasiado costoso.

Por último, la concesión de derechos exclusivos de P.I. proporciona poder de mercado a las empresas, algo que en términos económicos se entiende como la capacidad de fijar precios por encima de los costos marginales de producción. En muchos casos, el poder de mercado se ve limitado por la competencia de tecnologías o productos sustitutos. Sin embargo, en el caso de las innovaciones radicales, el poder de mercado puede ser sustancial. La capacidad de las empresas para generar beneficios por encima de los niveles competitivos es parte de la lógica económica del sistema de PI. Sin embargo, también implica una distorsión en la asignación de los recursos, ya que los mercados se alejan del ideal económico de la competencia perfecta. Además, la fijación de precios por encima de los costos marginales también puede frenar la difusión de las tecnologías (véase más adelante). En el diseño de políticas, esta distorsión se ve mitigada por el hecho de que la mayoría de los mecanismos de protección de la P.I. tienen una duración determinada; una vez expirados, los derechos de P.I. ya no restringen la competencia.⁵⁸

57. Datos de EE.UU y el Reino Unido indican que la obtención de licencias tecnológicas representa entre el 40 y el 44% de los gastos totales en I+D de las empresas. Véase Arora *et al* (2013).

58. La protección que confieren las marcas registradas no está limitada en el tiempo, siempre y cuando sus propietarios renueven su registro. Esto obedece a que la justificación para este tipo de protección es diferente.

56. Véase Graham *et al* (2009).

Derechos de P.I., mercados de tecnologías y difusión

Los derechos de propiedad intelectual permiten la concesión de licencias o la cesión de activos de propiedad intelectual; un componente cada vez más importante de los sistemas de innovación modernos. Los mercados de tecnología facilitan la especialización en el proceso de innovación. Las empresas pueden ser más innovadoras y eficientes si se centran en tareas específicas de investigación, desarrollo, producción o comercialización. Por ejemplo, una empresa dada puede descubrir que es particularmente buena en extender la vida útil de las baterías, mientras que otras compañías pueden ser mejores a la hora de convertir las innovaciones subyacentes en componentes para otros productos electrónicos. Del mismo modo, una empresa puede saber cómo comercializar de la mejor manera un producto innovador en el mercado nacional, pero preferir asociarse con otra empresa en un mercado extranjero desconocido.⁵⁹

La P.I. facilita el funcionamiento de los mercados de tecnología de varias maneras. En ausencia de derechos de P.I., las empresas serían reacias a revelar tecnologías secretas pero fáciles de copiar a otras empresas en la negociación de contratos de licencias. Además, si bien los activos intelectuales pueden, en principio, transferirse a través de contratos privados independientes de cualquier derecho de P.I., los títulos de P.I. ofrecen una delimitación de esos activos y una garantía de exclusividad en el mercado. Por tanto, los derechos de P.I. transmiten información importante que puede resultar útil en la elaboración de contratos.⁶⁰

Los mercados de tecnologías también son esenciales para las denominadas estrategias de innovación abierta. En muchas industrias, las empresas se enfrentan a una disyuntiva entre guardar para sí los conocimientos o compartirlos. Por un lado, la necesidad de obtener un retorno para su inversión en I+D aconseja evitar que los conocimientos se filtren a la competencia pero, por otro, puede que la protección absoluta de todas las ideas no siempre beneficie a la empresa, pues podría innovar mejor colaborando con terceros, incluso si eso implica compartir ciertos conocimientos protegidos. Además, el intercambio de tecnología también puede contribuir al desarrollo de mercados incipientes para los nuevos productos. Los derechos de P.I. son una pieza clave en el equilibrio entre conservación e intercambio de conocimientos, pues permiten a las empresas controlar de forma flexible qué tecnologías compartir, con quién y en qué términos.

Otra función importante de los mercados de tecnología es facilitar la comercialización de las innovaciones que salen de los laboratorios científicos. A menudo, el potencial comercial de esas invenciones es altamente incierto y requiere inversiones importantes para convertirlas en tecnologías comercializables. Las universidades y las instituciones públicas de investigación carecen de los recursos y la experiencia necesarios para llevar a cabo ese tipo de inversiones. Sin embargo, pueden patentar sus invenciones, y otorgar licencias sobre ellas o cederlas a empresas que sí dispongan de esos recursos.

59. Este argumento es análogo al de la especialización en el conjunto de la economía (sección 1.2).

60. Gans et al (2008) proporcionan datos empíricos.

Por último, los derechos de P.I. afectan a la difusión de las tecnologías, tanto en el plano doméstico como en el internacional. Por un lado, la naturaleza de los derechos exclusivos hace que puedan obstaculizar la difusión de las nuevas tecnologías —al menos en los países de validez de esos derechos—. Por otra parte, los derechos de P.I. también pueden fomentar la difusión tecnológica, como ocurre en los mercados de tecnología en general. Por lo tanto, en última instancia, la repercusión de los derechos de P.I. depende del tipo de tecnología en cuestión —sobre todo del grado en que esta pueda ser objeto de ingeniería inversa— y de la capacidad de absorción del receptor (véase la sección 1.3).

Secretos comerciales y movilidad de los trabajadores

Un vínculo entre el sistema de P.I. y los resultados de la innovación que a menudo se pasa por alto es la movilidad de los trabajadores del conocimiento. Con frecuencia, la difusión del conocimiento altamente especializado y no codificado se basa en la migración de trabajadores de una empresa a otra. Sin embargo, ¿hasta qué punto pueden esos trabajadores utilizar los conocimientos adquiridos en empleos anteriores si estos son secretos? La respuesta legal a esta pregunta se encuentra en las denominadas cláusulas de no competencia que figuran en los contratos laborales. Estas cláusulas restringen el uso que un trabajador puede hacer de la información adquirida durante un empleo anterior en su actividad profesional futura, al menos durante un período determinado. La inclusión y el contenido de las cláusulas de no competencia están sujetos a reglamentación, que varía en función de la jurisdicción de que se trate.⁶¹

Los encargados de la formulación de políticas se enfrentan a una disyuntiva a la hora de establecer las reglas básicas para las cláusulas de no competencia. Por una parte, permitir que los trabajadores dispongan de un margen de maniobra considerable para utilizar los conocimientos adquiridos en una empresa en otra promueve la difusión del conocimiento, alimenta el sistema de innovación y fomenta la adopción de tecnología.⁶² Por otro lado, también puede llevar a las empresas a renunciar a actividades innovadoras por temor a que los resultados se filtren a un competidor

en el futuro. Los datos empíricos sugieren que la reglamentación de no competencia influye en el grado de movilidad de los trabajadores, sobre todo cuando se trata de innovadores con competencias técnicas vinculadas a una empresa y trabajadores de áreas técnicas muy especializadas.⁶³ Sin embargo, no se sabe todavía con exactitud cuál es la importancia de dichas normas para la economía en general, pues incluyen no solo los conocimientos tecnológicos, sino también competencias organizativas y prácticas comerciales. Por lo tanto, su relevancia no se limita a las empresas tecnológicas, sino que se extiende por ejemplo a las empresas del sector servicios, que generan la mayor parte del producto económico de las economías de ingresos altos (véase la sección 1.1).

1.5 – Perspectivas futuras para el crecimiento generado por la innovación

El primer hecho estilizado de la sección 1.1 califica el crecimiento en las economías más avanzadas tras la Segunda Guerra Mundial de espectacular y excepcional. Sin embargo, el crecimiento desde el comienzo de la crisis financiera mundial en 2008 dista de ser exuberante. En la figura 1.8 se muestra la evolución del PIB per cápita en los países de ingresos altos desde mediados de la década de 1980. Antes de la crisis, el crecimiento medio era del 2,1% anual, con lo que se situaba en niveles equivalentes a los posteriores a la Segunda Guerra Mundial (figura 1.1). La crisis no solamente ha provocado una marcada contracción de la economía, sino que ha hecho que el crecimiento medio anual desde 2010 no supere el 0,9%.

¿La crisis financiera marca el comienzo de una nueva etapa de menor crecimiento? ¿La innovación como motor de crecimiento ha perdido potencia? Si bien solo con el tiempo se sabrá cuál es la respuesta correcta, en los últimos años se ha reactivado en el mundo académico el debate sobre las futuras previsiones de crecimiento. Esta última sección resume algunas de las ideas básicas de cada postura. Presenta primero los argumentos utilizados por los optimistas para justificar que la reciente ralentización del crecimiento es algo temporal y que el crecimiento se recuperará, para luego examinar las razones por las que los pesimistas consideran que los próximos años y décadas nos depararán un crecimiento lento.

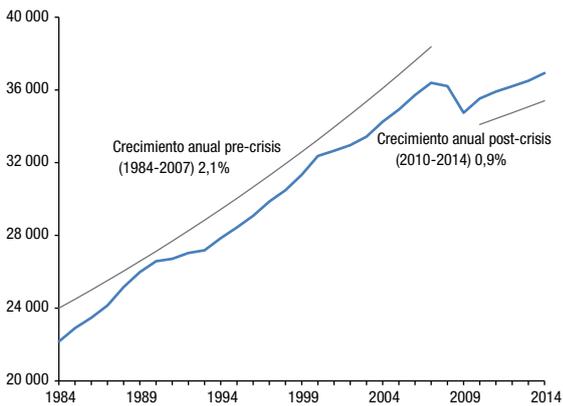
61. Véase Caenegem (2013).

62. Gilson (1999) argumenta que la falta de aplicación de las cláusulas de no competencia poscontractual en California ha tenido una repercusión positiva sustancial en la innovación de las empresas de Silicon Valley.

63. Véase Marx et al (2009).

Figura 1.8: ¿El crecimiento espectacular experimentado tras la Segunda Guerra Mundial ha llegado a su fin?

PIB per cápita real en los países de ingresos elevado de la OCDE, 1984-2014



Notas: Los valores del PIB se expresan en dólares de 2005. Las pendientes de las dos líneas logarítmicas representan las tasas de crecimiento anual de los dos periodos.

Fuente: Indicadores de Desarrollo del Banco Mundial

Argumentos de los optimistas

Para los optimistas, la ralentización del crecimiento es una situación temporal que tiene que ver con la causa fundamental de la crisis: la explosión de la burbuja por una sobrevaloración de los activos financiados con deuda, que dejó a las empresas y los hogares en una situación financiera precaria.⁶⁴ El deseo de sanear los balances economizando ha ocasionado una reducción persistente de la demanda agregada, y ha dado lugar a la aparición de una brecha considerable entre la producción real y la potencial. Con los tipos de interés próximos a cero, los bancos centrales se topan con dificultades a la hora de reducir este diferencial mediante instrumentos de política monetaria normales. Así pues, en este período posterior a la crisis, los efectos de la sobredosis de deuda están representando un lastre duradero para el crecimiento económico de las economías desarrolladas.⁶⁵

Los optimistas consideran que las fuerzas del mercado acabarán por eliminar esa persistente brecha entre los niveles de producción y que el crecimiento económico volverá a alinearse con su patrón histórico, de acuerdo con las capacidades productivas fundamentales de las economías. A lo largo de la historia, se han vivido largos períodos de crecimiento lento, que llevaron a los académicos a predecir el fin de este. Por ejemplo, John Maynard Keynes observaba en 1931: “En estos momentos, estamos sufriendo un duro ataque del pesimismo económico. [...] La crisis mundial que nos rodea, la enorme anomalía del desempleo en una sociedad llena de aspiraciones [...], no nos permite ver lo que está sucediendo en un nivel más profundo e interpretar correctamente las tendencias de lo que acontece”.⁶⁶

En el contexto actual, si nos centramos en las tendencias de crecimiento a largo plazo que muestra la figura 1.1 —en lugar de en la “aberración” que constituye la crisis financiera—, las perspectivas de crecimiento son halagüeñas. Además, si se considera el potencial de la innovación para contribuir a un crecimiento futuro sostenido, hay razones para mostrarse optimista.

En primer lugar, nunca antes se habían invertido tantos recursos a nivel mundial en hacer avanzar la frontera del conocimiento. La figura 1.9 muestra las tendencias en la inversión en I+D a nivel mundial y en los seis países que más fondos dedican a este concepto. Como puede apreciarse, desde mediados de la década de 1990, la tendencia es alcista. Si bien es cierto que la crisis financiera ha dejado huella en algunos países, la inversión en I+D se ha resentido mucho menos que la economía en general. China pasó de invertir relativamente poco en I+D a principios de los años noventa, a convertirse en el segundo país del mundo que más fondos dedica a esta actividad, superando al Japón y situándose únicamente por detrás de los EE.UU. Además, la emergencia de China como país innovador y el rápido crecimiento de las partidas dedicadas a I+D en la República de Corea han hecho aumentar la diversidad del panorama innovador a nivel mundial.

64. Véase Koo (2014).

65. Véase Lo y Rogoff (2015).

66. Véase Keynes (1931)

La innovación parece presentar todavía un potencial importante para la generación de mejoras en la productividad y la transformación de las estructuras económicas. La contribución de las TIC al crecimiento ha sido significativa (véase el recuadro 1.2 de la sección 2.3). Sin embargo, si la historia se repite, hay más por llegar. Las contribuciones al crecimiento de las innovaciones revolucionarias se han producido con décadas de retraso (véase la sección 1.3).⁶⁷ La próxima generación de innovaciones en el ámbito de las TIC —centradas en la inteligencia artificial— resulta muy prometedora. Brynjolfsson y McAfee (2014), por ejemplo, consideran exponencial el impacto de la innovación digital; utilizan la analogía de la duplicación secuencial de ganancias en un tablero de ajedrez, y señalan que todavía no hemos llegado a la segunda mitad del tablero. Entre otras cosas, las TIC presentan la potencialidad de incrementar la productividad del sector servicios, que tradicionalmente se ha considerado como un lastre en términos de productividad.⁶⁸ Cabe señalar, a modo de ejemplo, que datos de la economía estadounidense apuntan a un crecimiento especialmente rápido de la productividad en los servicios de distribución —sector que ha realizado un uso intensivo de las TIC—. ⁶⁹

Muchos otros ámbitos de la innovación, entre ellos los tres que se abordan en el capítulo 3 de este informe —las impresoras 3D, la nanotecnología y la robótica—, así como la ingeniería genética, los nuevos materiales y varias fuentes de energía renovable, albergan un gran potencial para fomentar el crecimiento en el futuro. Las nuevas tecnologías también han mejorado drásticamente las herramientas de investigación que posibilitan el avance de la ciencia. En particular, técnicas informáticas como el análisis de grandes volúmenes de datos o las simulaciones complejas han abierto nuevas puertas a los investigadores en muchos ámbitos de la tecnología. Para los optimistas, la interacción entre ciencia y tecnología genera una dinámica que se autoalimenta y parece no conocer límites.⁷⁰

Finalmente, y en parte como reacción a las decepcionantes cifras de productividad en tiempos recientes, algunos economistas cuestionan que el método actual de medición del PIB capture el verdadero impacto de las nuevas tecnologías. Este argumento presenta dos vertientes. Por un lado, las herramientas que los expertos en estadística utilizan tienen cada vez más dificultades para capturar las mejoras cualitativas y las nuevas formas de producción económica (véase el recuadro 1.1).⁷¹ Por otra parte, el concepto mismo de PIB es poco apto para medir los beneficios aportados por las innovaciones actuales en el ámbito del bienestar social. Por ejemplo, el desarrollo de muchas tecnologías nuevas es altamente oneroso, pero una vez que esas tecnologías se materializan, producir las es relativamente económico y algunas pueden reproducirse de forma gratuita. Contribuyen, pues, poco al crecimiento de la economía pero pueden aumentar de manera sustancial los niveles de bienestar.⁷²

67. Véase David (1990).

68. Debido a que el crecimiento de la productividad ha sido históricamente más lento en el sector servicios que en la industria, Maddison (1997) calificó el aumento de la importancia del sector terciario en el conjunto de la economía de “lastre estructural considerable”.

69. Véase Jorgenson y Timmer (2011). De manera más general, Triplett y Bosworth (2003) han observado que desde 1995 el crecimiento de la productividad del sector servicios en los Estados Unidos es equivalente al aumento de la productividad en el conjunto de la economía.

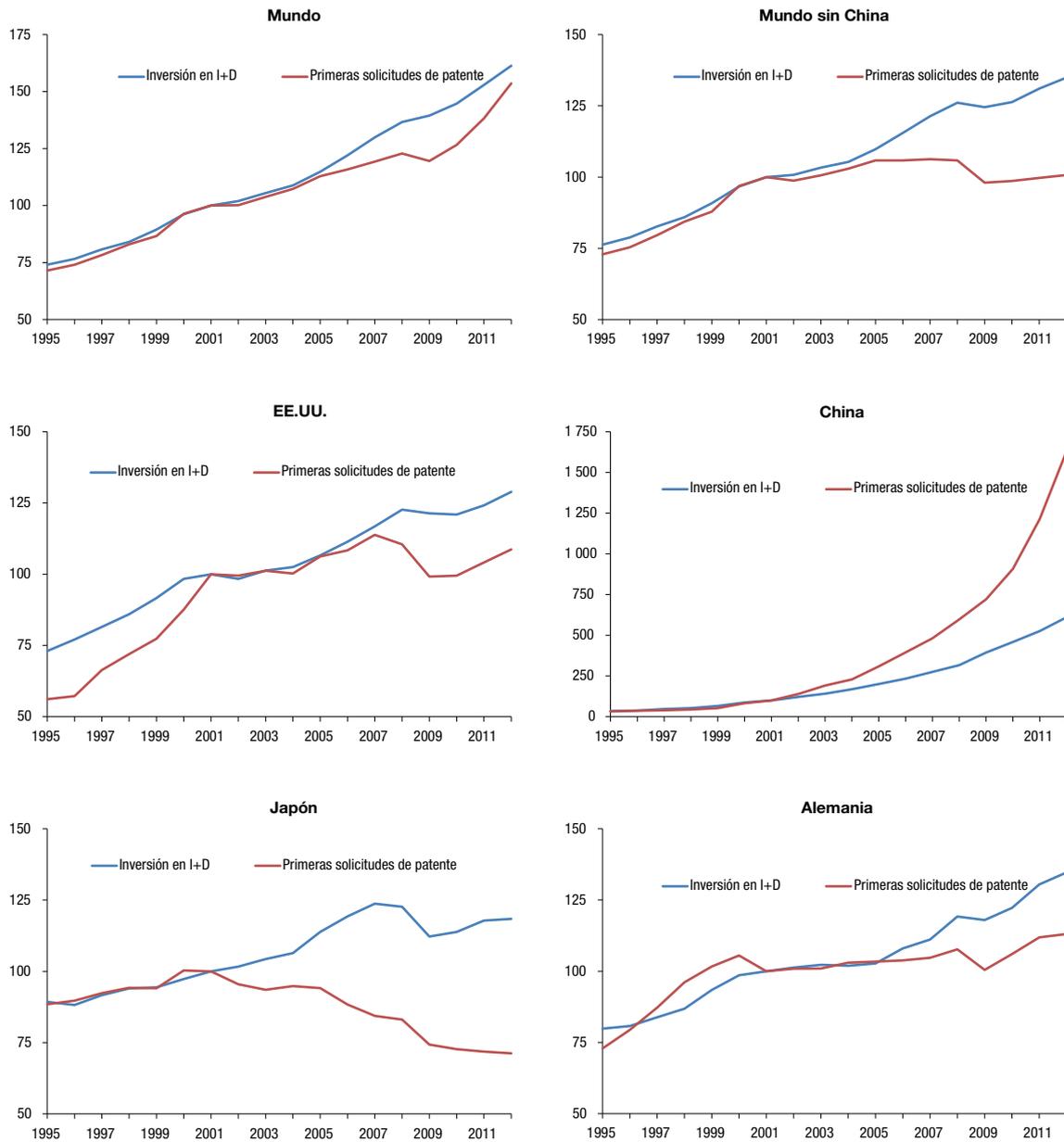
70. Véase Mokyr (2014).

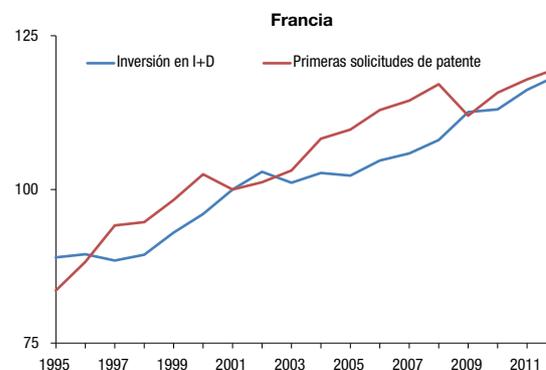
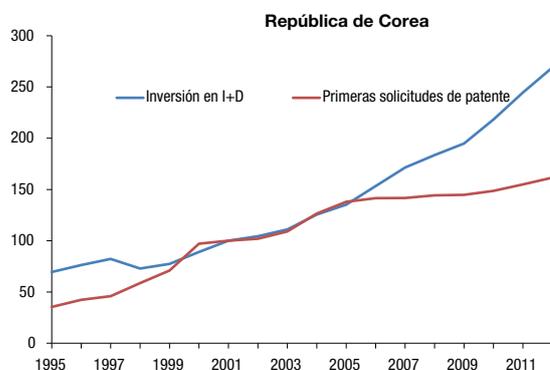
71. McGuckin y Stiroh (2001) observan que los problemas de medición en ciertas actividades del sector servicios altamente dependientes de las TIC —finanzas, servicios empresariales y comercio al por mayor— han dado lugar a una subestimación importante del crecimiento de la productividad en el conjunto de la economía.

72. Véanse Mokyr (2014) y Glaeser (2014).

Figura 1.9: Diversidad de tendencias en los resultados de la innovación

Inversión en I+D y primeras solicitudes de patente, índice (2001=100), 1995-2012





Notas: Las inversiones en I+D se expresan en dólares de 2005. El total mundial de inversión en I+D comprende el gasto de 33 países para los cuales se dispone de datos para la mayoría de los años. Este grupo incluye todos los grandes países de la OCDE, así como China y la Federación de Rusia. Algunos puntos de los gráficos se han obtenido por extrapolación.

Fuente: OCDE y Base de Datos Estadísticos de la OMPI.

Argumentos de los pesimistas

La argumentación utilizada por los pesimistas comienza dudando de que las fuerzas del mercado basten para eliminar las brechas de producción creadas por la crisis financiera. La duración del bajón económico y los esfuerzos infructuosos por volver al pleno empleo en muchas economías desarrolladas indican que algo fundamental ha cambiado. Estas dudas han dado lugar a teorías denominadas de “estancamiento secular” (término introducido por el economista Lawrence Summers en 2013).⁷³ Desde el punto de vista técnico, el estancamiento secular puede definirse como un contexto en el que solo mediante tipos de interés negativos se consigue traducir el ahorro y la inversión en una situación de pleno empleo. Si la inflación es baja y la barrera para los tipos de interés se sitúa en el 0%, los diferenciales en los niveles de producción persisten, y esto da lugar a un nivel de crecimiento bajo (conocido como “la nueva mediocridad”).⁷⁴

Los macroeconomistas no se ponen de acuerdo sobre qué ha dado lugar al estancamiento secular. Se han mencionado como posibles causas los cambios demográficos y las transformaciones en la estructura de los mercados financieros. Cabe señalar que para algunos economistas, la tecnología también es un factor desencadenante, y argumentan que la última oleada de innovación en el ámbito de las TIC ha requerido relativamente poca inversión.⁷⁵

73. Véase Summers (2014).

74. El término “nueva mediocridad” se atribuye a la Directora Gerente del Fondo Monetario Internacional (FMI), Christine Lagarde; véase www.imf.org/external/npl/speeches/2014/100214.htm.

75. Véase un resumen en la colección de ensayos editada por Teulings y Baldwin (2014).

En sí mismas, las preocupaciones que suscita el estancamiento secular no cuestionan el potencial de la innovación para contribuir al crecimiento futuro. No obstante, la persistencia de desajustes en los niveles de producción podría tener repercusiones negativas sobre los canales de transmisión a través de los que la innovación genera crecimiento. Así, la debilidad de la demanda podría hacer que las empresas no aprovecharan las oportunidades ofrecidas por las nuevas tecnologías, los largos períodos de desempleo podrían dar lugar a que los trabajadores perdiesen sus competencias técnicas o nunca las adquiriesen, y el menor número de nuevas empresas y de empresas en crecimiento podría ralentizar la transformación estructural de la economía.

Al margen de las inquietudes que despierta el estancamiento secular, los pesimistas también dudan del potencial de la innovación para generar crecimiento. Una de sus justificaciones es que se viene observando una ralentización del crecimiento de la productividad total de los factores desde mucho antes del comienzo de la crisis. Cabe destacar que la economía estadounidense vivió un marcado aumento de esa productividad entre 1995 y 2003, debido principalmente a las TIC (véase el recuadro 1.2). Sin embargo, desde entonces hemos asistido a una reducción importante de su crecimiento.⁷⁶ En términos más generales, varios estudios elaborados por el FMI confirman que la producción potencial de las economías desarrolladas comenzó a disminuir a comienzos de la década de 2000, y que este declive se debe fundamentalmente a la desaceleración del crecimiento de la productividad total de los factores.⁷⁷

76. Véase Fernald (2014).

77. Véase FMI (2015).

¿Es posible que la mayor parte de la contribución al crecimiento de las TIC ya se haya producido y que, en vista de que no se perfilan en el horizonte innovaciones comparables, el crecimiento futuro vaya a ser decepcionante? Esto es lo que defiende precisamente el economista Robert Gordon en un provocador artículo.⁷⁸ Argumenta que la adopción de las TIC y la innovación a la que han dado lugar se han producido más rápidamente que en el caso de otras tecnologías de interés general, como prueba que ya en las décadas de 1970 y 1980 se materializasen muchos de los beneficios más relevantes, como la realización por parte de las computadoras de tareas administrativas pesadas y repetitivas. Las innovaciones más recientes en el campo de las TIC han consistido en aparatos de entretenimiento y comunicaciones cada vez más pequeños y avanzados, pero que no aumentan radicalmente la productividad económica.

De manera más general, Gordon considera difícil igualar los logros de innovaciones anteriores. Por ejemplo, las drásticas mejoras en la velocidad de los transportes, la esperanza de vida y las comunicaciones a larga distancia no son replicables, y las innovaciones futuras están abocadas a tener un impacto más reducido. Igualmente, el potencial de la innovación para incrementar la participación de la fuerza de trabajo es mucho menor. Al contrario, si algo cabe esperar es que los cambios demográficos en las economías desarrolladas reduzcan esa participación.

También hay que cuestionar la productividad de la actividad innovadora en el futuro, pues expandir las fronteras del conocimiento se hace cada vez más difícil debido a que las oportunidades más fácilmente aprovechables ya se han explotado. La figura 1.9 presenta, además de la inversión real en I+D, la tendencia en el número de primeras solicitudes de patente (el indicador del ámbito de las patentes que más se aproxima al concepto de innovaciones únicas). Con la excepción de China, desde mediados de la década de 2000, la mayoría de países han experimentado un crecimiento más rápido en la inversión en I+D que en el número de primeras solicitudes de patente, lo que ha hecho disminuir la rentabilidad de la I+D. Si bien no conviene obcecarse con estos datos —pues las tendencias en la solicitud de patentes pueden obedecer a cambios en las estrategias de patentes— sí es cierto que a diferencia de lo que sucedió en las décadas de 1980 y 1990, en los últimos años las tendencias en materia de patentes no apuntan a un incremento de la productividad en el ámbito de la I+D.⁷⁹

Finalmente, el argumento de que las estadísticas sobre el PIB no consiguen capturar el verdadero impacto de la innovación es difícil de evaluar. El uso de técnicas hedónicas y otras herramientas ha mejorado la medición del PIB en los países que cuentan con oficinas de estadística equipadas para utilizarlas (véase el recuadro 1.1). Teniendo esto en cuenta, la calidad de las estadísticas actuales debería ser mejor que en décadas anteriores. Es indudable que las estadísticas sobre el PIB no recogen todos los beneficios que las nuevas innovaciones aportan en materia de bienestar social, pero la pregunta clave es si ese problema de inframedición se ha agudizado respecto al pasado. No hay pruebas de que así sea, y demostrarlo podría resultar imposible.⁸⁰

78. Véase Gordon (2012).

79. Véase Fink *et al* (2015) para un examen más pormenorizado de las tendencias a largo plazo en materia de solicitud de patentes. Señalan que una de las transformaciones importantes en las estrategias de patentes es el aumento de la internacionalización.

80. Véase DeLong (1998).

Referencias

- Aghion, P., Bloom, N., Blundell, R., Griffith, R., & Howitt, P. (2005). Competition and Innovation: An Inverted-U Relationship. *Quarterly Journal of Economics*, 120(2), 701-728.
- Aghion, P. & Howitt, P. (1992). A Model of Growth Through Creative Destruction. *Econometrica*, 60(2), 323-351.
- Arora, A., Athreye, S., & Huang, C. (2013). Innovation, Patenting and Licensing in the UK: Evidence from the SIPU Survey. Research commissioned by the UK Intellectual Property Office.
- Arrow, K.J. (1962). Economic Welfare and the Allocation of Resources for Invention. In R.R. Nelson (Ed.), *The Rate and Direction of Inventive Activity: Economic and Social Factors* (pp. 609-626). Princeton: Princeton University Press.
- Baumol, W.J. (1967). Macroeconomics of Unbalanced Growth: The Anatomy of Urban Crises. *American Economic Review*, 57(3), 415-26.
- Baumol, W.J., Blackman, S.A.B., & Wolff, E.N. (1985). Unbalanced Growth Revisited: Asymptotic Stagnancy and New Evidence. *American Economic Review*, 75(4), 806-817.
- Bairoch, P. & Goertz, G. (1986). Factors of Urbanisation in the Nineteenth Century Developed Countries: A Descriptive and Econometric Analysis. *Urban Studies*, 23(4), 285-305.
- Bolt, J. & van Zanden, J.L. (2014). The Maddison Project: Collaborative Research on Historical National Accounts. *The Economic History Review*, 67(3), 627-651.
- Bresnahan, T. & Trajtenberg, M. (1995). General Purpose Technologies: Engines of Growth? *Journal of Econometrics*, 65(1), 83-108.
- Broadberry, S.N., Campbell, B., Klein, A., Overton, M., & van Leeuwen, B. (2011). British Economic Growth, 1270-1870. *School of Economics Discussion Paper No. 1203, University of Kent*.
- Brynjolfsson, E. & McAfee, A. (2014). *The Second Machine Age: Work, Progress, and Prosperity in a Time of Brilliant Technologies*. New York, NY: W.W. Norton & Company.
- Caenegem, W.v. (2013). Employee Know-How, Non-compete Clauses and Job Mobility across Civil and Common Law Systems. *International Journal of Comparative Labour Law and Industrial Relations*, (29)2, 219-238.
- Chen, S. & Ravallion, M. (2004). How Did the World's Poorest Fare since the Early 1980s? *The World Bank's Research Observer*, 19(2), 141-170.
- Comin, D. & Mestieri, M. (2013). If Technology Has Arrived Everywhere, Why has Income Diverged? *National Bureau of Economic Research Working Paper, No. 19010*.
- Corrado, C., Haskel, J., Jona-Lasinio, C. & Iommi, M. (2012). Intangible Capital and Growth in Advanced Economies: Measurement Methods and Comparative Results. Working Paper, available at www.intan-invest.net.
- Coyle, D. (2014). *GDP: A Brief But Affectionate History*. Princeton: Princeton University Press.
- Crafts, N. (2004). Steam as a General Purpose Technology: a Growth Accounting Perspective. *The Economic Journal*, 114(495), 338-351.
- Crafts, N. & Mills, T.C. (2004). Was 19th Century British Growth Steam-Powered? The Climacteric Revisited. *Explorations in Economic History*, 41(2), 156-171.
- David, P. (1990). The Dynamo and the Computer: An Historical Perspective on the Modern Productivity Paradox. *American Economic Review, AEA Papers and Proceedings*, 80(2), 355-361.
- DeLong, J.B. (1998). How Fast is Modern Economic Growth? *Federal Reserve Bank of San Francisco Economic Letter*, 1998-31.
- Eaton, J. & Kortum, S. (1994). International Patenting and Technology Diffusion. *National Bureau of Economic Research Working Paper, No. 4931*.
- Fagerberg, J. & Godinho, M.M. (2004). Innovation and Catching-Up. In J. Fagerberg, D.C. Mowery, & R.R. Nelson (Eds.), *The Oxford Handbook of Innovation* (pp. 514-542). Oxford: Oxford University Press.
- Fernald, J. (2014). Productivity and Potential Output Before, During, and After the Great Recession. *National Bureau of Economic Research Working Paper, No. 20248*.
- Fink, C., Khan, M. & Zhou, H. (2015). Exploring the Worldwide Patent Surge. *Economics of Innovation and Technology*, (forthcoming).
- Gans, J.S., Hsu, D.H. & Stern, S. (2008). The Impact of Uncertain Intellectual Property Rights on the Market for Ideas: Evidence from Patent Grant Delays. *Management Science*, 54 (5), 982-997.
- Gilson, R. J. (1999). The Legal Infrastructure of High Technology Industrial Districts: Silicon Valley, Route 128, and Covenants not to Compete. *New York University Law Review*, 74(4), 575-629.
- Glaeser, E.L. (2014). Secular joblessness. In C. Teulings & R. Baldwin (Eds.), *Secular Stagnation: Facts, Causes and Cures* (pp. 69-80). London: CEPR Press.
- Goodridge, P., Haskel, J. & Wallis, G. (2014). Estimating UK Investment in Intangible Assets and Intellectual Property Rights. Research commissioned by the UK Intellectual Property Office.
- Gordon, R.J. (2000). Does the "New Economy" Measure Up to the Great Inventions of the Past? *Journal of Economic Perspectives*, 14(4), 49-74.
- Gordon, R.J. (2012). Is U.S. Economic Growth Over? Faltering Innovation Confronts the Six Headwinds. *National Bureau of Economic Research Working Paper, No. 18315*.
- Graham, S.J.H., Merges, R.P., Samuelson, P., & Sichelman, T. (2009). Entrepreneurs and the Patent System. *Berkeley Technology Law Journal*, 24(4), 1258-1328.
- Grossman, G.M. & Helpman, E. (1991). *Innovation and Growth in the Global Economy*. Cambridge: Massachusetts Institute of Technology Press.
- Hulten, C.R. (2003). Price Hedonics: A Critical Review. *Economic Policy Review*, 9(3), 5-15.
- IMF. (2015). *World Economic Outlook April 2015*. Washington, DC: IMF.

- Jorgenson, D.W. & Timmer, M.P. (2011). Structural Change in Advanced Nations: A New Set of Stylised Facts. *Scandinavian Journal of Economics*, 113(1), 1-29.
- Kenny, C. (2011). *Getting Better: Why Global Development Is Succeeding – And How We Can Improve the World Even More*. New York, NY: Basic Books.
- Keynes, J.M. (1931). Economic Possibilities for Our Grandchildren. In J.M. Keynes (Ed.), *Essays in Persuasion* (pp. 358-374). London: The MacMillan Press.
- Koo, R.C. (2014). Balance Sheet Recession Is the Reason for Secular Stagnation. In C. Teulings & R. Baldwin (Eds.), *Secular Stagnation: Facts, Causes and Cures* (pp. 131-141). London: CEPR Press.
- Kuznets, S. (1966). *Modern Economic Growth: Rate, Structure, and Speed*. New Haven, CT: Yale University Press.
- Landefeld, J.S. & Parker, R.P. (1997). BEA's Chain Index, Time Series, and Measures of Long-Term Economic Growth. *Survey of Current Business*, 77(5), 58-68.
- Landefeld, J.S. & Grimm, B.T. (2000). A Note on the Impact of Hedonics and Computers on Real GDP. *Survey of Current Business*, 82(12), 17-22.
- Lakner, C. & Milanovic, B. (2013). Global Income Distribution: from the Fall of the Berlin Wall to the Great Recession. *World Bank Policy Research Working Paper*, 6719.
- Lo, S. & Rogoff, K. (2015). Secular Stagnation, Debt Overhang and Other Rationales for Sluggish Growth, Six Years On. *Bank for International Settlements Working Paper*, No. 482.
- Maddison, A. (1997). Causal Influences on Productivity Performance 1820-1992: A Global Perspective. *Journal of Productivity Analysis*, 8(4), 325-359.
- Maddison, A. (2001). *The World Economy: A Millennial Perspective*. Paris: Development Centre of the OECD.
- Mankiw, N.G., Romer, D. & Weil, D.N. (1992). A Contribution to the Empirics of Economic Growth. *Quarterly Journal of Economics*, 107(2), 407-437.
- Marx, M., Strumsky, C., & Flemming, L. (2009). Mobility, Skills, and the Michigan Non-Compete Experiment. *Management Science*, 55(6), 875-889.
- McGuckin, R.H. & Stiroh, K.J. (2001). Do Computers Make Output Harder to Measure? *The Journal of Technology Transfer*, 26(4), 295-321.
- Mokyr, J. (2014). Secular Stagnation? Not in Your Life. In C. Teulings & R. Baldwin (Eds.), *Secular Stagnation: Facts, Causes and Cures* (pp. 83-89). London: CEPR Press.
- Nelson, R.R. & Pack, H. (1999). The Asian Miracle and Modern Growth Theory. *The Economic Journal*, 109(457), 416-436.
- Nelson, R.R. & Winter, S.G. (1982). *An Evolutionary Theory of Economic Change*. Cambridge, MA: Harvard University Press.
- OECD. (2001). *Measuring Productivity*. Paris: OECD.
- OECD. (2013). *OECD Science, Technology and Industry Scoreboard 2013*. Paris: OECD.
- O'Brien, P. (1977). *The New Economic History of Railways*. New York, NY: Routledge.
- Oliner, S.D. & Sichel, D.E. (2003). Information Technology and Productivity: Where Are We Now and Where Are We Going? *Journal of Policy Modeling*, 25(5), 477-503.
- Pinkovskiy, M. (2013). World Welfare is Rising: Estimation Using Nonparametric Bounds on Welfare Measures. *Journal of Public Economics*, 97, 176-195.
- Pinkovskiy, M. & Sala-i-Martin, X. (2009). Parametric Estimations of the World Distribution of Income. *National Bureau of Economic Research Working Paper*, No. 15433.
- Pritchett, L. (1997). Divergence, Big Time. *Journal of Economic Perspectives*, 11(3), 3-17.
- Romer, P.M. (1986). Increasing Returns and Long-Run Growth. *Journal of Political Economy*, 94(5), 1002-1037.
- Romer, P.M. (1990). Endogenous Technological Change. *Journal of Political Economy*, 98(5), 71-102.
- Roser, M. (2015). Life Expectancy. Published online at OurWorldInData.org. Retrieved September 22, 2015, from <http://ourworldindata.org/data/population-growth-vital-statistics/life-expectancy>.
- Sala-i-Martin, X. (2006). The World Distribution of Income: Falling Poverty and... Convergence, Period. *Quarterly Journal of Economics*, 121(2), 351-397.
- Samuelson, P. (1978). The Canonical Classical Model of Political Economy. *Journal of Economic Literature*, 16(4), 1415-1434.
- Schumpeter, J. (1939). *Business Cycles: A Theoretical, Historical and Statistical Analysis of the Capitalist Process*. New York, Toronto, London: McGraw-Hill Book Company.
- Smith, A. (1776). *An Inquiry into the Nature and Causes of the Wealth of Nations*. London: W. Strahan and T. Cadell.
- Solow, R. (1956). A Contribution to the Theory of Economic Growth. *Quarterly Journal of Economics*, 70(1), 65-94.
- Solow, R. (1957). Technical Change and the Aggregate Production Function. *Review of Economics and Statistics*, 39(3), 312-320.
- Stiroh, K.J. (2002). Information Technology and the U.S. Productivity Revival: What Do Industry Data Say? *American Economic Review*, 92(5), 1559-1576.
- Summers, L.H. (2014). Reflections on the 'New Secular Stagnation Hypothesis'. In C. Teulings & R. Baldwin (Eds.), *Secular Stagnation: Facts, Causes and Cures* (pp. 27-38). London: CEPR Press.
- Teulings, C. & Baldwin, R. (2014). *Secular Stagnation: Facts, Causes and Cures*. London: CEPR Press.
- Triplet, J.E. & Bosworth, B.P. (2003). Productivity Measurement Issues in Services Industries: Baumol's Disease Has Been Cured. *Economic Policy Review*, 9(3), 23-33.

United Nations. (2009). *System of National Accounts 2008*. New York, NY: United Nations.

US Bureau of the Census. (1975). *Historical Statistics of the United States, Bicentennial Edition, Part 2*. Washington, DC: US Bureau of the Census.

Verspagen, B. (2004). Innovation and Economic Growth. In J. Fagerberg, D.C. Mowery, & R.R. Nelson (Eds.), *The Oxford Handbook of Innovation* (pp. 487-513), Oxford: Oxford University Press.

Watson, C. (1993). Trends in World Urbanization. In K.B. Wildey & W.H. Robinson (Eds.), *Proceedings of the First International Conference on Urban Pests*. Cambridge, England.

WIPO. (2011). *World Intellectual Property Report 2011: The Changing Face of Innovation*. Geneva: World Intellectual Property Organization.

WIPO. (2013). *World Intellectual Property Report 2013: Brands – Reputation and Image in the Global Marketplace*. Geneva: World Intellectual Property Organization.

Young, A. (1995). The Tyranny of Numbers: Confronting the Statistical Realities of the East Asian Growth Experience. *The Quarterly Journal of Economics*, 110(3), 641-680.

Young, A. (2003). Gold into Base Metals: Productivity Growth in the People's Republic of China during the Reform Period. *Journal of Political Economy*, 111(6), 1220-1261.

Capítulo 2

Innovaciones revolucionarias del pasado

En la primera parte de este informe se destaca la importancia de la innovación revolucionaria para sostener el crecimiento económico a largo plazo. Como se examina en el capítulo 1, en estudios económicos recientes se han asociado estas innovaciones revolucionarias con las tecnologías de uso general, unas tecnologías que tienen una gran variedad de usos y que son aplicadas en muchos sectores. Sin embargo, no se ha llegado a un consenso acerca de qué tecnologías quedan comprendidas en las distintas definiciones formales de las tecnologías de uso general.¹ A pesar de esta incertidumbre en lo que se refiere a la definición, el estudio de innovaciones revolucionarias específicas y su impacto en el crecimiento se presenta muy prometedor. Las circunstancias diversas en las que prosperan las innovaciones, la naturaleza cambiante de la tecnología y los distintos cauces a través de los cuales la nueva tecnología afecta a la actividad económica, impiden con frecuencia que se extraigan conclusiones de carácter general acerca de por qué se produce la innovación, cómo impulsa el crecimiento y cuáles son las políticas que mejor promueven la actividad innovadora.

En la segunda parte del informe, por lo tanto, se examinan de manera más específica los vínculos entre innovación, propiedad intelectual (P.I.) y crecimiento económico, a través de estudios de caso de las diferentes innovaciones revolucionarias. Este capítulo se centra particularmente en tres innovaciones revolucionarias del pasado – los aviones, los antibióticos y los semiconductores – mientras que en el capítulo 3 se examinan tres innovaciones que se presentan muy prometedoras para el futuro.

La selección de los aviones, los antibióticos y los semiconductores para los estudios de caso del pasado es, hasta cierto punto, arbitraria. Sin embargo, no hay duda de que constituyen innovaciones revolucionarias, a la luz tanto de su contribución tecnológica como de su impacto transformador en la economía. Figuran en numerosas listas y relaciones académicas de las innovaciones más importantes del siglo XX.² Además, exponen los diversos contextos en los que se produce la innovación y están presentes en los diferentes campos de la tecnología. En pocas palabras, el avión es un producto construido a partir de una gran variedad de tecnologías de ingeniería, los antibióticos representan

una clase de producto fruto de un conjunto reducido de descubrimientos científicos y el semiconductor es la piedra angular de la tecnología presente en numerosos productos de las tecnologías de la información y de las comunicaciones (TIC).

Los tres estudios de caso se presentan en la sección 2.1 (aviones), sección 2.2 (antibióticos) y sección 2.3 (semiconductores) y se ajustan de manera estrecha al marco conceptual introducido en el capítulo 1. Cada estudio de caso está dividido en tres partes. En la primera parte se describe el origen histórico de la innovación, su evolución de invento a producto ampliamente comercializado, y las vías a través de las cuales transformó la actividad económica y contribuyó al crecimiento económico. En la segunda parte se analiza el ecosistema en el que prosperó la innovación: quiénes fueron los protagonistas clave de la innovación, cuál era su vinculación y cómo las políticas públicas configuraron el camino de la innovación. En la tercera parte se investiga el rol del sistema de P.I., planteando de manera específica en qué medida los distintos derechos en materia de P.I. contribuyeron a garantizar que las inversiones en investigación y desarrollo arrojaran beneficios, y cómo favorecieron los mercados de tecnologías y la difusión de nuevas tecnologías. También se describe la manera en que el sistema de P.I. se adaptó a los cambios en la naturaleza de la tecnología y de las necesidades del mercado.

Por último, en la sección 2.4 se trata de extraer algunas de las principales lecciones aprendidas en estos tres casos del pasado, estableciendo de esta manera una base comparativa con respecto a las innovaciones revolucionarias actuales que se examinan en el capítulo 3.

1. Para un debate reciente al respecto, véase Ristuccia y Solomou (2014).
2. Véase, por ejemplo, la conocida lista de las principales innovaciones elaborada por la revista *The Atlantic*.

2.1 – Aviones

“Inventar un avión no es nada.
Construirlo es algo.
Pero volar lo es todo.”

Otto Lilienthal,
Pionero de la aviación alemana

El avión despegó a principios del siglo XX, haciendo caso omiso a las predicciones del siglo XIX de que “las máquinas voladoras que pesan más que el aire son algo imposible”.³ A finales del siglo XX, los viajes aéreos se habían convertido en una experiencia relativamente habitual y el transporte aéreo había revolucionado el comercio mundial. Como consecuencia, el mundo se convirtió en un lugar más pequeño. La historia de la innovación aeronáutica es extraordinariamente rica, yendo desde los heroicos inventores que sacrificaron sus vidas en su afán de gloria hasta las brillantes hazañas de ingeniería mediante el método de prueba y error, pasando por el pensamiento científico más reciente.⁴

2.1.1 –El desarrollo del avión comercial y su contribución económica

A comienzos del siglo XX, los inventores estadounidenses Orville y Wilbur Wright diseñaron un ala que permitía el control de viraje mediante el alabeo y una estructura de timón que proporcionaría estabilidad lateral a una aeronave, y presentaron una solicitud para la patente estadounidense de este invento el 23 de marzo de 1903.⁵ La estabilidad lateral que proporcionaba la combinación de ala y timón resultó ser un avance revolucionario en los años iniciales del desarrollo de los aviones. Permitió que el *Flyer*, el avión de los hermanos Wright, se levantara del suelo y volara durante 59 segundos, recorriendo una distancia de 260 metros. El *Flyer* fue – probablemente – la primera máquina más pesada que el aire que demostró su eficacia.⁶ En 1905, el *Flyer III*, una versión notablemente mejorada del diseño anterior, podía guiarse con facilidad para que

diera la vuelta y girara, y era capaz de volar durante más de 30 minutos cada vez.⁷

En el momento en que Wilbur Wright presentó el *Flyer III* al público en 1908, ya existían numerosos modelos competidores. El brasileño Alberto Santos-Dumont (1906) y los franceses Gabriel Voisin (1907), Henri Farman (1909) y Louis Blériot (1909) figuraron entre los muchos que presentaron aeronaves eficaces, con distintos grados de velocidad, autonomía y fiabilidad estructural.⁸

Pero los primeros diseños de aviones, como los de los hermanos Wright, no eran en absoluto viables para el transporte de pasajeros. Se trataba de vehículos pequeños de un solo motor, propulsados por toscos motores de pistones que generaban entre 25 y 100 caballos de fuerza. Tenían una velocidad operativa de unas 40 millas por hora, la duración máxima de los vuelos era de entre dos y tres horas, y solo podían llevar a dos personas.⁹

Passaría casi una década desde el invento de los hermanos Wright antes de que el avión pudiera considerarse como un modo de transporte alternativo y viable.

La aplicación del conocimiento científico a la aviación

Los hermanos Wright y sus coetáneos lograron volar sin conocer los fundamentos científicos que explicaban por qué podían hacerlo.

Un segundo hito en la evolución de la aviación se produjo cuando la ciencia ofreció la explicación de cómo podían volar unas naves que eran más pesadas que el aire. En particular, los avances en matemáticas y física ofrecieron la explicación acerca de cómo circula el aire alrededor de una superficie de sustentación, y proporcionaron el factor decisivo para explicar y estimar cómo afecta el aire a la sustentación y a la resistencia de un avión.¹⁰

3. La cita se atribuye al matemático y físico escocés William Thomson, Lord Kelvin.
4. Esta sección se basa en Mowery (2015) y Budrass (2015).
5. La patente de los Estados Unidos 821.393, conocida popularmente como “la 393”, se presentó el 23 de marzo de 1903 y se concedió el 22 de mayo de 1906.
6. Durante los primeros años de la aviación, el avión era una de las diversas alternativas posibles para los viajes aéreos; otra opción destacada era el dirigible, una nave más ligera que el aire, controlable e impulsada también por una máquina.

7. Gibbs-Smith (2003).
8. En 1906, el avión 14-bis, de Alberto Santos-Dumont, fue certificado por el *Aéro Club de Francia* y la *Fédération Aéronautique Internationale* como el primer artefacto más pesado que el aire en realizar un vuelo motorizado. La colaboración entre Henri Farman y Gabriel Voisin produjo el avión *Voisin-Farman*, que fue galardonado por el *Aéro Club de Francia* en 1907 por realizar el primer vuelo a una altura de 150 metros sobre una distancia de 771 metros.
9. Brooks (1967).
10. Wilhelm Kutta, matemático de la Universidad de

Hugo Junkers, profesor alemán de termodinámica, aplicó esta teoría e inventó un ala gruesa voladiza, para la que presentó una solicitud de patente en 1910 en la Oficina Alemana de Patentes, y en 1911 ante la Oficina de Patentes y Marcas de los Estados Unidos de América (USPTO).¹¹ Al contrario que en el caso de las alas delgadas de diseños anteriores de aviones, que se sostenían con bastidores y cables de sujeción, una superficie de sustentación más gruesa fortalecía la estructura del avión a través de la construcción de sus alas y su fuselaje. Para seguir mejorando la estructura del fuselaje, Junkers sustituyó la madera contrachapada, la tela y la píceca, que eran los materiales convencionales, por el duraluminio, una aleación de aluminio altamente resistente. Construyó el primer avión enteramente metálico en 1915, pero era dudosamente práctico.¹² Junkers siguió desarrollando este diseño y en 1917 presentó el primer avión militar enteramente metálico: el J-7/-9. A partir de este diseño militar, Junkers estrenó el primer avión de pasajeros enteramente metálico en 1919: el F-13.

El conocimiento de la teoría de la aerodinámica y su aplicación al diseño de aviones ayudó a mejorar la estructura y el funcionamiento de las aeronaves. Entre las numerosas mejoras destacaron (véase también el cuadro 2.1):

- el diseño del ala de avión de un solo larguero y la construcción centrada en el reforzamiento del revestimiento, por el cual el peso estructural del avión se sitúa en sus alas y en el revestimiento de su fuselaje (Adolf Rohrbach, 1918; perfeccionado por Herbert Wagner, 1925);
- la incorporación de alerones a las alas para evitar que el avión entre en pérdida en pleno vuelo (ideada por separado por el alemán Gustav Lachmann y la firma británica Handley Page alrededor de 1923);
- una línea aerodinámica idónea para optimizar el despegue del avión y minimizar la resistencia (Bennett Melvill Jones, 1927);

Múnich, y Nikolai Joukowski, experto ruso en aerodinámica, formularon por separado el mismo teorema sobre la circulación del aire alrededor de una superficie de sustentación: entre 1902 y 1911 en el caso de Kutta, y entre 1902 y 1909 en el caso de Joukowski. En 1904, Ludwig Prandtl, físico de la Universidad de Göttingen, publicó una explicación sobre el origen de los vórtices en los fluidos dinámicos.

11. La patente DE 253 788 se presentó el 1 de febrero de 1910 en la Oficina Alemana de Patentes, mientras que la patente estadounidense 1.114.364 fue presentada el 26 de enero de 1911 ante la USPTO.
12. Las autoridades alemanas argumentaron que el J-1 era demasiado pesado (Gibbs-Smith, 2003).

- la introducción del tren de aterrizaje retráctil, gracias al recorte de las costillas maestras y los largueros del ala del avión, y a la adopción de una construcción centrada en el reforzamiento del revestimiento; y
- el motor radial con cubierta, que posibilita la refrigeración del motor, preservando al mismo tiempo la estructura del avión (Fred Weick ante el National Advisory Committee on Aeronautics (NACA), basándose la propuesta de H.C.H. Townend's de 1928).

En la década de 1930, la mayoría de los diseños de aviones correspondían a monoplanos enteramente metálicos que incorporaban las innovaciones enumeradas anteriormente. La estabilidad reforzada de los aviones, derivada de los cambios en el grosor de las alas, la construcción enteramente en metal y una construcción centrada en el reforzamiento del fuselaje, permitió crear un mayor espacio interior para dar cabida a los pasajeros y la carga, los motores, los depósitos de combustible y los instrumentos de vuelo. Estos cambios fueron incorporados en la construcción de los aviones de pasajeros Boeing 247, Douglas DC-1, DC-2 y DC-3, y Lockheed.

Y lo que es más importante, estos aviones eran más seguros y duraderos que sus predecesores.

El siguiente paso importante en la evolución de los aviones fue la introducción de los motores a reacción. El uso del motor a reacción se concibió a principios del siglo XX, pero solo se convirtió en algo práctico con el desarrollo gradual de las teorías de la aerodinámica y su aplicación al diseño de los fuselajes. Inicialmente, no hubo una demanda acuciante del motor a reacción, debido a que los motores de turbina proporcionaban un nivel de rendimiento suficientemente alto para los aviones en servicio. Además, fueron precisas mejoras adicionales del motor a reacción – como el diseño de las turbinas de alta velocidad y los compresores para los turbo reactores – y el desarrollo de las alas en flecha para posibilitar el rendimiento operativo necesario que permitiera incorporar a los aviones la tecnología de los reactores. En tercer lugar, dos nuevos acontecimientos – la demanda de mayores cargas útiles de pasajeros y la introducción de nuevos diseños de fuselaje para dar cabida a varios motores a reacción – impulsaron la incorporación de los turbo reactores a los aviones comerciales. La primera aeronave comercial con motor a reacción, el De Havilland *Comet*, no apareció hasta 1952.

Cuadro 2.1: Selección de personalidades destacadas de la aviación, 1850 1935

Año	Inventor/Responsable del experimento	País	Descripción
Pioneros de la aviación*			
1866	Francis Wenham	Reino Unido	Planteó la idea de las alas superpuestas en una maquina voladora, que fue patentada en 1866. Ilustró la importancia del multiplano con una alta relación de aspecto en su estudio "Locomoción aérea", publicado en 1890. Este diseño constituye la base de los biplanos, los triplanos y los multiplanos.
1870s	Alphonse Pénaud	Francia	Fue el primero que construyó un modelo de aeronave de ala fija que resultó relativamente estable, en concreto el modelo propulsado por tiras de goma con alas en ángulo de diedro y timón de vuelo inclinado. También diseñó una aeronave a gran escala equipada con un sistema de control.
1890s	Otto Lilienthal	Alemania	Llevó a cabo y registró experimentos de campo con planeadores. Sus demostraciones con planeadores animaron a muchos a volar.
1890s	Lawrence Hargrave	Australia	Presentó un diseño de cabina con forma de cometa que mejoró la estabilidad de la aeronave. En 1893, presentó sus conclusiones ante la Conferencia Internacional de Navegación Aérea en Chicago, EE.UU.
1890	Clément Ader	Francia	Despegó sin ayuda con el <i>Éole</i> , un avión propulsado a vapor, en Armainvilliers, y se mantuvo en el aire durante aproximadamente 50 metros. Fue el primer vuelo con un despegue sin ayuda, pero el avión no pudo ser controlado una vez en el aire.
1903	Orville y Wilbur Wright	EE.UU.	Desarrollaron una estructura de alabeo y timón que proporcionaba estabilidad lateral a la aeronave. Presentaron una solicitud de patente en 1903, que fue concedida en 1906.
Las teorías de la aerodinámica y su aplicación a la construcción del fuselaje			
1904	Ludwig Prandtl	Alemania	Teorizó acerca de cómo se forman los vórtices en los fluidos dinámicos. Junto al teorema Kutta-Joukowski, sentó las bases para una teoría de la aerodinámica sobre los planos de sustentación en 1917. Esta teoría fue perfeccionada posteriormente por sus colegas Albert Betz y Max Munk.
1910	Hugo Junkers	Alemania	Presentó una patente sobre el "diseño físico de planos de sustentación" en 1910.
1911	Theodore von Kármán	Hungría	Su teorema de la <i>calle de vórtices</i> explicó por qué un flujo de aire se separa del plano de sustentación en un ángulo de ataque elevado. Explicó por qué los aviones entrarían en pérdida.
1913	Armand Deperdussin	Bélgica	Obtuvo una patente sobre el primer intento de diseñar un fuselaje monocasco o hecho con una sola armazón.
1918	Adolf Rohrbach	Alemania	Incorporó la estructura de revestimiento reforzado a su diseño para un avión de pasajeros de cuatro motores: el <i>Staaken E.4/20</i> .
1925	Herbert Wagner	Alemania	Colega de Adolf Rohrbach, desarrolló un marco teórico sobre los campos de tensión diagonal para calcular el diseño de revestimiento reforzado. Sus investigaciones optimizaron las propiedades de los revestimientos reforzados en los fuselajes y las alas de los aviones.
1927	Bennett M. Jones	EE.UU.	Conceptualizó el avión simplificado ideal, que situaba el peso en su estructura, en lugar de únicamente en las alas. El fuselaje aerodinámicamente mejorado redujo tanto la resistencia sobre el avión, como el consumo de combustible. Esta idea allanó el camino a una aviación civil rentable.
1928	H.C.H. Townend	Reino Unido	Propuso montar un anillo en torno a un motor radial para evitar las turbulencias procedentes de los cilindros.
Evolución del motor a reacción			
1922	Maxime Guillaume	Francia	Le fue concedida la primera patente para un motor a reacción usando un supercargador turbo.
1930	Frank Whittle	Reino Unido	Presentó una solicitud de patente para un prototipo inicial de turboreactor que no fue renovada en 1935 por falta de financiación.
1932	Ernst Heinkel	Alemania	Presentó el HE 70, un avión mejorado desde el punto de vista aerodinámico. Participó en el diseño de motores de aeronaves y también subvencionó el trabajo de Von Ohain sobre los motores a reacción.
1935	Hans J.P. von Ohain	Alemania	Presentó una solicitud de patente para su diseño de motor a reacción. Fue el primer avión con motor a reacción operativo.

*Las fechas de las "invenciones" de estos inventores/responsables de experimento pioneros son aproximadas.

Fuente: Crouch (2000), Gibbs-Smith (2003), Heilbron (2003), Meyer (2013), Budrass (2015) y Mowery (2015).

A principios de la década de 1970, se presentaron los aviones comerciales de fuselaje ancho como el Boeing 747, el McDonnell Douglas DC-10 y el Lockheed L-1011. Estas aeronaves mostraron mejoras de rendimiento espectaculares, especialmente incrementos significativos en la capacidad de pasajeros y una eficiencia operativa sin precedentes de sus motores turbofán.

La creciente dependencia del transporte aéreo

Las mejoras en la fiabilidad y la durabilidad de los aviones contribuyeron a hacer del transporte aéreo un modo de transporte viable, en competencia con medios de transporte de superficie como el ferrocarril y el transporte marítimo. Se redujo el tiempo de viaje de larga distancia. En 1930, los pasajeros podían viajar entre ciudades europeas como Berlín, Londres, París y Viena, y regresar el mismo día, convirtiendo el transporte aéreo en un rival sólido del transporte ferroviario.

Cuadro 2.2: Crecimiento del rendimiento de los aviones y de la capacidad de pasajeros, 1936-1974

Tipo de avión	Año de entrada en servicio	Carga útil de pasajeros	Velocidad media de crucero (mph)	Productividad por hora (capacidad/ton-millas por hora)	Cantidad construida
Motor de pistón					
Douglas DC-3	1936	28	180	400	13 500
Douglas DC-4	1946*	40	205	1 000	2 300
Boeing <i>Stratocruiser</i>	1948	60	300	2 300	56
Douglas DC-6B	1951	66	315	1 950	362
Lockheed L-1049 <i>Super Constellation</i>	1951	80	310	2 800	286
Douglas DC-7	1956	112	335	2 700	338
Turbopropulsados					
Vickers <i>Viscount</i> 700	1953	52	310	1 200	283
Bristol <i>Britannia</i> 300	1957	110	385	4 300	60
Lockheed <i>Electra</i>	1959	85	405	3 200	174
Turborreactores					
Boeing 707	1958	132	570	10 500	913
Douglas DC-8	1959	142	535	9 500	208*
Sud Aviation <i>Caravelle</i>	1959	87	455	3 000	87*
Boeing 747	1969	340-493	595	30 000	1 235
Airbus A300B	1974	245	552		

* se refiere solo a los primeros modelos.

Fuente: Staniland (2003).

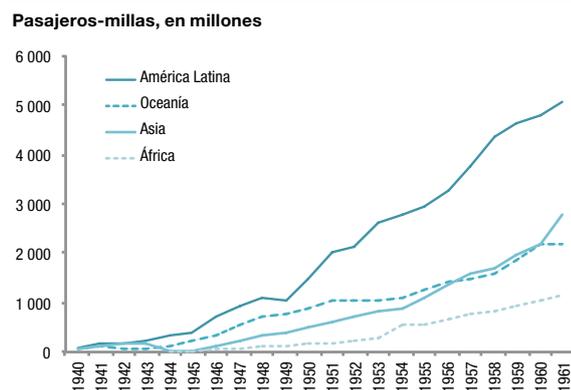
Además, la introducción del motor a reacción y una mayor capacidad de carga útil derivó en un descenso significativo de los costes operativos. Esto, a su vez, condujo a la introducción de la clase “turista” en 1958, y puso los viajes aéreos al alcance de un mayor porcentaje de la población. El mismo año que se introdujo la clase turista, el número de pasajeros que viajaron por vía marítima de un lado al otro del Atlántico Norte cayó drásticamente.¹³ El cuadro 2.2 muestra las mejoras en el rendimiento de los aviones y en la capacidad de pasajeros por modelo de avión y a través del tiempo.

La disminución de los costes también contribuyó a un incremento del porcentaje de bienes transportados por vía aérea: los ingresos medios por tonelada-kilómetro de mercancías enviadas cayeron un 92% entre 1955 y 2004.¹⁴

Por último, el transporte aéreo contribuyó a conectar regiones remotas con áreas urbanas. En la década de 1930, pequeñas aerolíneas privadas operaban rutas entre el norte y el sur de Canadá. Se programaron vuelos desde los Estados Unidos de América (EE.UU.), Francia y Alemania a ciudades en América Central y del Sur. Los pasajeros de fuera de Europa y de los EE.UU. recurrieron cada vez más al avión como medio de transporte viable (véase el cuadro 2.1). Muchas aerolíneas europeas de bandera fueron fundadas en la

década de 1920, y algunas de ellas unieron ciudades europeas con sus colonias en regiones de Asia, Oriente Medio, América Latina y Oceanía.¹⁵

Figura 2.1: La cifra de pasajeros en América Latina, Asia, África y Oceanía que usaron el transporte aéreo aumentó significativamente entre 1940 y 1961



Fuentes: Davies (1964).

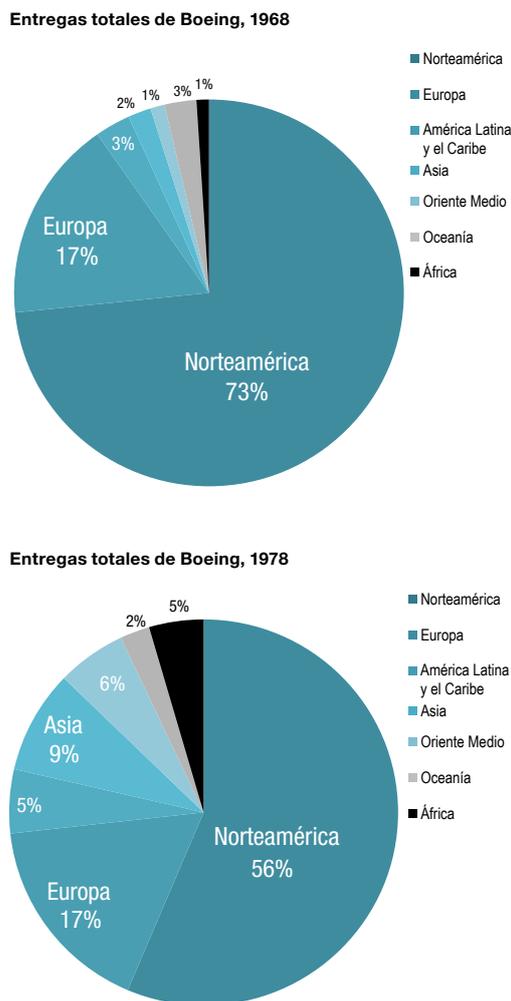
13. OACI (1960).

14. Hummels (2007).

15. Brooks (1967).

A mediados de la década de 1970, otros países, al margen de Europa y los EE.UU., también compraban aviones para sus propias aerolíneas de bandera (véase la figura 2.2 más abajo).

Figura 2.2: Comparativa del porcentaje de ventas de aviones Boeing (incluyendo McDonnell Douglas) por región, 1968 frente a 1978



Fuente : Boeing (2015).

Un papel importante en el crecimiento económico

El avión ha tenido un impacto significativo en el crecimiento económico desde su creación.

En primer lugar, la fuerte inversión de capital necesaria para crear una aerolínea de bandera y construir la infraestructura necesaria para sostener el transporte aéreo, como los complejos aeroportuarios, las pistas de aterrizaje y despegue, los sistemas de control del tráfico aéreo y las actividades de servicio conexas, ha supuesto una contribución importante al crecimiento económico. Un estudio publicado por la OACI en 2006 cifró en 370 mil millones de dólares de los EE.UU. (USD) y aproximadamente seis millones de empleos la contribución de la aviación civil a la economía mundial en 1998.¹⁶ Otro estudio estimó que la industria del transporte aéreo representó entre 11,3 y 410 mil millones de USD del Producto Interno Bruto (PIB) en diferentes regiones en 2004.¹⁷

Además, la inversión tiene un efecto multiplicador, generando muchas otras actividades económicas relativas al crecimiento. El mismo informe de la OACI afirma: “[E]n la economía mundial cada 100 USD de producción y cada 100 empleos creados por el transporte aéreo generan una demanda adicional de unos 325 USD y 610 empleos en otras industrias”.¹⁸

En segundo lugar, la combinación de un transporte aéreo fiable, tiempos de viaje más cortos y costes reducidos ha facilitado la globalización. Tanto las personas como los bienes pueden viajar distancias más largas en menos tiempo, facilitando la circulación transfronteriza de bienes y servicios. Entre 1951 y 2004, el crecimiento promedio de los bienes transportados por vía aérea fue del 11,7%, frente a un crecimiento medio del 4,4% en el transporte marítimo.¹⁹ Además, el turismo prosperó.²⁰

16. OACI (2006).
 17. 11,3 mil millones de USD (África), 148 mil millones de USD (Asia-Pacífico), 274 mil millones de USD (Europa), 20,6 mil millones de USD (América Latina y el Caribe), 16,1 mil millones de USD (Oriente Medio), y 410 mil millones de USD (Estados Unidos de América) (ATAG, 2005). En la página web de ATAG hay disponibles estimaciones más recientes correspondientes a 2014.
 18. OACI (2006).
 19. Hummels (2007).
 20. En 2004, el 40% de los turistas viajaron vía aérea.

Este mayor recurso al transporte aéreo ha contribuido a su vez a la reorganización de la cadena de suministro en la fabricación y ha creado nuevos modelos de negocio, que en todos los casos aprovechan las ventajas comparativas relativas de los países.

2.1.2 – El ecosistema de innovación en la aviación

El desarrollo de la aviación – desde el logro revolucionario de los hermanos Wright de un vuelo propulsado, controlado y sin ayuda durante 56 segundos en 1903 hasta el transporte aéreo fiable de larga distancia en la década de 1970 – es el resultado de numerosas innovaciones y mejoras graduales procedentes de diferentes campos tecnológicos.

Estas innovaciones fueron el resultado de la interacción entre numerosos elementos del ecosistema de innovación aeronáutica, lo que incluye la función del inventor, las instituciones académicas y los gobiernos, y el entorno económico en el que se produjo la innovación.

Tres factores notables influyeron en las dinámicas de la innovación aeronáutica. En primer lugar, hubo un cambio perceptible en la interacción entre los inventores, yendo de los intentos de vuelo experimentales al surgimiento, a finales de la década de 1910, de una industria dedicada a la producción y a la venta comercial de fuselajes y motores para su uso civil y militar. En la fase experimental, los inventores intercambiaron información y colaboraron entre ellos, pero esta colaboración decayó a medida que comenzó a formarse la industria aeronáutica.

En segundo lugar, la complejidad de la innovación en los aviones aumentó a medida que evolucionaron los avances aeronáuticos, desde el uso puramente experimental de la ingeniería mecánica básica hasta la fuerte dependencia del conocimiento científico sobre la circulación del aire, y finalmente hasta la optimización actual del rendimiento de los aviones mediante la integración de subsistemas complejos que implican tecnología electrónica, hidráulica y de materiales. En cada fase del desarrollo de la aviación, fueron necesarios diferentes capacidades y conocimientos técnicos para introducir un producto con éxito. Además, a medida que los aviones más modernos integraban un mayor número de sistemas, se encareció la inversión necesaria para la innovación, y la actividad pasó a estar asociada a un mayor grado de incertidumbre. En concreto, el

éxito de un nuevo producto aeronáutico comenzó a depender de la optimización del diseño con el objetivo de integrar sistemas complejos, aunque la manera de interactuar de estos sistemas resultara habitualmente difícil de predecir.

En tercer lugar, el interés de los gobiernos en el desarrollo de los aviones aumentó a medida que los adelantos en el campo de la aviación comenzaron a mostrar posibilidades prometedoras de aplicación, especialmente para fines y usos de la defensa nacional.

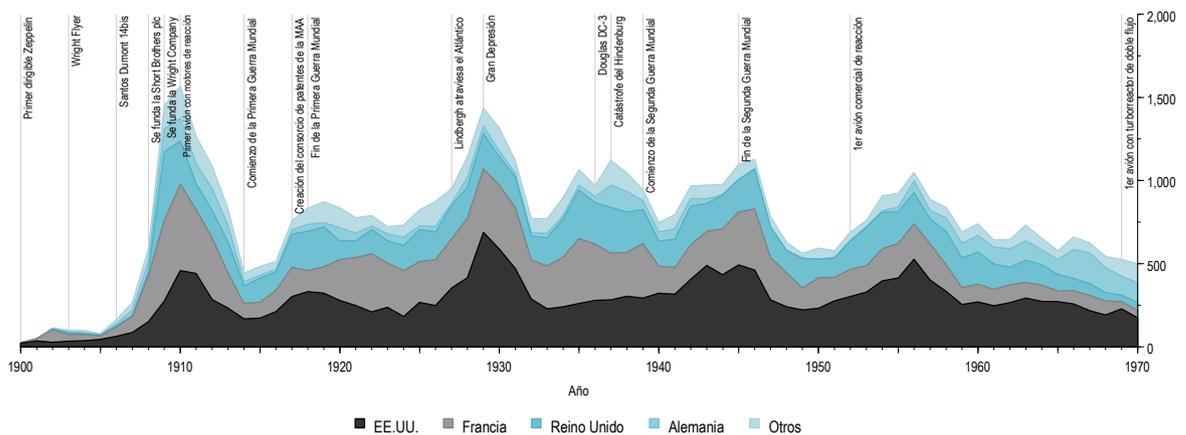
A lo largo de estas dinámicas de cambio en el ecosistema de la innovación aeronáutica, un elemento parece haberse mantenido constante de 1900 a 1970: las principales actividades innovadoras en la aviación se concentraron geográficamente en los EE.UU. y Europa, en particular en Francia, Alemania y el Reino Unido, si bien con niveles diferentes de importancia entre estos países a medida que pasaba el tiempo. Las pautas en la presentación de solicitudes de patentes durante ese período corroboran este aspecto.

La figura 2.3 ilustra las primeras solicitudes de patente relacionadas con la aviación según la residencia del primer solicitante entre 1900 y 1970. Hubo dos puntos álgidos en la presentación de solicitudes de patentes, en 1910 y 1929. Es difícil determinar las causas precisas de este incremento en la presentación de solicitudes. Sin embargo, la primera fecha corresponde al período (1905-1910) en el que se estaban presentando y demostrando los nuevos diseños de aviones en toda Europa, mientras que la segunda coincide con la presentación de diseños de aviones de pasajeros fiables como el Douglas DC-3.²¹

21. Como se explica más arriba, los diseños de aviones de la década de 1930 incorporaron numerosas innovaciones progresivas que incrementaron el rendimiento y la fiabilidad de las aeronaves.

Figura 2.3: Entre 1900 y 1970, las solicitudes de patentes tendían a concentrarse en los EE.UU., Francia, Alemania y el Reino Unido

Primeras solicitudes de patente por origen, 1900-1970



Fuente: OMPI, a partir de la base de datos PATSTAT (véanse las notas técnicas).

La dinámica cambiante de la cooperación

En los años pioneros de la aviación, alrededor del periodo 1890-1905, fueron los particulares, y no los gobiernos o las instituciones, quienes desempeñaron una función decisiva en el impulso de la innovación sobre el terreno. Estos inventores eran aficionados y entusiastas de la aviación a los que les movía principalmente la curiosidad; algunos también perseguían la fama, pero ninguno – al menos al principio – esperaba un provecho económico.

De hecho, muchos de ellos eran relativamente adinerados y habían ganado dinero en otras esferas antes de iniciar sus experiencias en la aviación. En esta etapa inicial, los recién llegados podían participar fácilmente en la comunidad. Para empezar, los adelantos en la aviación eran predominantemente mecánicos y podían ser imitados con facilidad. Los inventores podían aprender de ensayos previos, cambiar ligeramente el diseño de sus aviones y, a continuación, probarlos.

Asimismo, los últimos progresos técnicos y los conocimientos se compartían abiertamente en la comunidad de la aviación, lo que permitía a los autores de los experimentos consolidar la base de conocimiento existente.²² Existían clubes y sociedades de “navegación aérea”, integrados por socios, en Berlín, Londres y París. Se organizaban exposiciones y conferencias para mostrar los últimos acontecimientos en

aeronáutica, la primera de las cuales fue organizada por la Sociedad Aeronáutica del Reino Unido en Crystal Palace (Londres) en 1868.

En 1909, había un total de 21 publicaciones periódicas sobre aviación que daban a conocer la información más reciente relacionada con este campo. La más importante de todas era la del francés Octave Chanute. En 1894, Chanute compiló y publicó todas las pruebas relacionadas con la aviación y sus resultados en su libro *Progress in Flying Machines* (Avances en máquinas voladoras), poniendo sus conocimientos a disposición del público. Chanute fue también el nexo de unión que conectaba a los inventores entre sí, manteniendo correspondencia con ellos y ofreciéndoles sus ideas. En algunas ocasiones, Chanute financió a inventores con escasos recursos financieros para ayudarles a seguir adelante con sus trabajos experimentales.²³

Antes de que los hermanos Wright inventaran el diseño del ala que permitía el control de viraje mediante el alabeo, mantuvieron correspondencia y se involucraron con esta comunidad de entusiastas del vuelo. Durante este periodo, el apoyo gubernamental fue mínimo.

22. Meyer (2013).

23. Entre otras cosas, ayudó a financiar las pruebas experimentales de Louis Mouillard con planeadores.

A medida que el sueño de las máquinas voladoras comenzó a tornarse real, decayó la naturaleza colaborativa de la innovación en materia de aviación.²⁴ Esto comenzó con el secretismo de los hermanos Wright sobre su invento hasta que consiguieron su patente en 1906.²⁵ Dos años después de que esta patente fuera concedida por la USPTO, Wilbur hizo una demostración de su modelo de avión en Francia.²⁶

La inversión comenzó a llegar a raudales a la industria de la aviación, procedente tanto de sectores privados como públicos. Henri Deutsch de la Meurthe, un pionero de la industria europea del petróleo, financió el desarrollo de la investigación automovilística y aeronáutica en Francia hasta su muerte en 1919. Hugo Junkers financió su propia investigación aeronáutica, y llegó hasta el punto de construir dos instalaciones con túneles de viento para su instituto de investigación privado.

Inventores como los hermanos Wright (1908), Gabriel Voisin (1910) y Glenn Curtiss (1916) fundaron sus propias compañías para obtener beneficios de su esfuerzo. Entre 1903 y 1913, se presentaron aproximadamente 200 prototipos de aviones, pero solo un puñado de ellos fue construido.²⁷ La mayoría de ellos fueron vendidos para un uso gubernamental.

Hacia una innovación basada en la ciencia

La fiabilidad y el rendimiento de los aviones mejoraron significativamente a medida que los investigadores comenzaron a comprender por qué vuela un avión. Las mejoras en el diseño de los aviones mediante la aplicación de la teoría de la aerodinámica a la construcción de fuselajes dio una ventaja tecnológica al país que fue capaz de innovar en este campo – Alemania – en detrimento de otros países como el Reino Unido, Francia y los EE.UU.

Se dieron diversas circunstancias en Alemania que propiciaron esta superioridad tecnológica. En primer lugar, casi todos los inventores alemanes de aviones eran científicos o ingenieros, y eran capaces de aplicar las teorías de la aerodinámica a la construcción de aeronaves técnicamente más complejas.²⁸ Incluso algunos pilotos tenían títulos de ingeniería y podían contribuir al cálculo, la medición y las pruebas sobre el rendimiento de las aeronaves. En segundo lugar, muchos de estos inventores eran también profesores universitarios y sacaban provecho de su cercanía física entre ellos. La idea del acero corrugado hecho con duraluminio fue de Hans Reissner, un colega de Junkers, cuando ambos eran profesores en la Universidad Técnica de Aachen. En tercer lugar, los adelantos en el diseño de aviones se beneficiaron de la experiencia que tenía Alemania con el dirigible tipo zepelín. Tanto Claude Dornier como Adolf Rohrbach trabajaron con el Zepelín antes de pasarse a los aviones. Los túneles de viento diseñados por Prandtl en 1908 – para mejorar la forma de los zepelines – se utilizaron para probar la teoría de superficies de sustentación de Prandtl-Betz-Munk hasta el final de la I Guerra Mundial. Los resultados de estas pruebas sirvieron para fundamentar el diseño y la construcción de aviones en años posteriores.

Pero a medida que las mejoras en el diseño de los aviones tomaron un cariz más científico, aumentó el coste de la industria aeronáutica. Fue necesario invertir en grandes complejos de investigación y en pruebas como los túneles de viento. En 1917, Gustave Eiffel construyó en Auteuil (Francia) un túnel de viento capaz de poner a prueba diseños de aeronaves, pero la falta de financiación para la investigación aeronáutica redujo su potencial y su uso.

En poco tiempo, se abrió una brecha creciente entre naciones en lo que respecta a la base de conocimientos en el campo de la aviación.²⁹ En otros países, los inventores carecían a menudo de la preparación o la formación académica necesarias para imitar o mejorar los aviones diseñados por sus rivales alemanes, que tenían una base científica. Por ejemplo, diseñadores franceses y británicos, como los hermanos Short en 1922, copiaron con entusiasmo el avión alemán de duraluminio porque era moderno, pero no lo mejoraron.

24. Esta evolución no es exclusiva de la industria aeronáutica.

25. Los hermanos habían revelado que habían conseguido volar con éxito en una carta remitida al inventor francés Ferdinand Ferber el 9 de octubre de 1905, y en un artículo publicado en Francia detallaron sus logros basándose en su solicitud de patente en los Estados Unidos de América. Pero la comunidad europea de la aviación prestó poca atención a esta información; se trató probablemente de un descuido (Gibbs-Smith, 2003).

26. Los hermanos Wright llevaron a cabo algunas demostraciones en los Estados Unidos de América, pero no consiguieron suscitar el interés del gobierno federal.

27. Zhegu (2007).

28. Budrass (1998). Henrich Focke fue un pionero del avión de alas rotatorias; Hanns Klemm se especializó en las aeronaves ligeras; Messerschmitt, Heinkel y Arado se especializaron en la adaptación de la revolución aerodinámica a las estructuras del fuselaje.

29. Constant II (1980), Crouch (2002).

Además, había una barrera idiomática: la transferencia transfronteriza de conocimientos aeronáuticos solía depender de la traducción. El rol pionero de Hans Reissner a la hora de importar a Alemania los conocimientos franceses sobre diseño de aviones se debió en parte a su dominio del francés, y fue necesario el parentesco alemán del científico británico Hermann Glauert para escribir la primera traducción al inglés de la teoría de las superficies de sustentación. Asimismo, la revista británica *Engineering* tradujo extractos del aporte de Prandtl y los analizó exhaustivamente para sus lectores en inglés.

Aunque los conocimientos científicos más recientes que estaban en la base de los adelantos de los aviones alemanes se dieron a conocer a toda la comunidad científica en publicaciones de investigación y conferencias, no siempre fue suficiente para propiciar que las naciones que se habían quedado atrás tecnológicamente se pusieran a la misma altura. De hecho, uno de los cauces principales para transmitir el conocimiento alemán fue la emigración de científicos y la confiscación del conocimiento aeronáutico del país tras la II Guerra Mundial (véase el recuadro 2.1).

Recuadro 2.1: La confiscación del conocimiento aeronáutico alemán tras la Segunda Guerra Mundial

Tras el final de la II Guerra Mundial, los alemanes no pudieron llevar a cabo ninguna actividad aeronáutica hasta 1955. Además, sus patentes en el extranjero fueron secuestradas y se pusieron a disposición del dominio público. El presidente estadounidense (Harry S.) Truman promulgó un decreto declarando que “se procederá a la difusión rápida, pública, libre y general de la información científica e industrial del enemigo”.³⁰ Por lo tanto, las patentes alemanas fueron consideradas propiedad pública y podían ser utilizadas por los ciudadanos de los países aliados.

En las áreas de ocupación en Alemania, los servicios aliados se incautaron de una enorme cantidad de documentos y equipos, recopilando aproximadamente 1.200 toneladas de informes técnicos, documentos y patentes hasta 1946, así como de equipos para la investigación.

Dado que se prohibía a los alemanes cualquier tipo de actividad aeronáutica en Alemania, un alto porcentaje de sus élites científicas emigraron a países aliados. Unos 1.000 científicos alemanes se trasladaron a los EE.UU., de los cuales el 40% eran considerados especialistas en la investigación aeronáutica.

Fuente: Budrass (2015).

El estímulo del desarrollo aeronáutico mediante la iniciativa gubernamental

Los gobiernos desempeñaron un papel importante en el desarrollo de los aviones, principalmente para la defensa nacional. Los gobiernos fueron esenciales a la hora de favorecer el desarrollo de los aviones y de difundir conocimiento, tanto el existente dentro de cada país y el procedente de Alemania, en su condición de líder tecnológico, como el del resto del mundo. Asimismo, los gobiernos se convirtieron en las fuentes principales de financiación del desarrollo aeronáutico.

Entre las intervenciones clave de los gobiernos, destacan:

- el respaldo a la investigación aeronáutica mediante la creación y la financiación de instituciones públicas de investigación dedicadas al estudio de la aviación, como por ejemplo en Francia (1908), el Reino Unido (1909), Alemania (1912), los EE.UU. (1915) e Italia (1935);
- el patrocinio de exposiciones internacionales de prestigio para dar a conocer los últimos adelantos de la aviación, como por ejemplo el *Salon international de l'aéronautique et de l'espace* en Paris-Le Bourget, en Francia (1909), el *RAF Air Show* en Hendon, en el Reino Unido (1912), y la *Internationale Luftschiffahrt-Ausstellung*, en Alemania (1912);
- la compilación de los avances aeronáuticos más recientes y su transmisión a los investigadores y fabricantes: durante la I Guerra Mundial, el ejército alemán restringió las publicaciones relacionadas con la aviación, pero publicó los adelantos más recientes en los *Technische Berichte der Flugzeugmeisterei* para su uso interno; en los EE.UU., el NACA publicaba periódicamente traducciones de importantes investigaciones relacionadas con la aviación para poner al día a sus investigadores sobre los conocimientos aeronáuticos europeos más recientes;
- la compra de aviones y las subvenciones a las aerolíneas de bandera (véase el cuadro 2.3 más abajo).

30. Executive Order 9604, Providing for the Release of Scientific Information.

Cuadro 2.3: Porcentaje de ingresos de las aerolíneas derivados de los subsidios del gobierno

	1930	1931	1932	1933
Alemania	63,3	68,9	69,8	64,6
Bélgica	79,8	83,0	73,5	74,8
Francia	79,6	81,8	79,6	79,0
Países Bajos	50,9	40,4	41,0	24,0
Reino Unido	69,2	48,8	35,7	39,0
Suecia	62,6	65,8	68,3	52,0
Suiza	78,6	81,5	80,9	67,0

Fuente: Miller et Sawers (1968).

Los ecosistemas innovadores y los gobiernos de dos naciones se destacaron a la hora de favorecer el desarrollo aeronáutico: Alemania y los EE.UU.

Alemania

Antes, durante y después de las dos Guerras Mundiales, el gobierno alemán hizo un gran esfuerzo para acelerar el desarrollo y la construcción de aviones de guerra.

En primer lugar, creó y financió instituciones para desarrollar, recopilar y hacer llegar a los fabricantes alemanes los últimos avances tecnológicos relacionados con la aviación.³¹ Uno de los beneficiarios de esta política de fomento fue el fabricante de aviones Anthony Fokker, el primero en poner en práctica los fuselajes de gran volumen desarrollados y analizados en la Universidad de Göttingen durante la I Guerra Mundial. Los aviones resultantes tenían un ritmo de ascenso mayor y mayor maniobrabilidad que cualquier avión de los aliados.³²

En segundo lugar, el gobierno organizó una asociación de fabricantes de aviones de guerra de la que formaban parte todos los fabricantes e innovadores alemanes en este campo. Todas las tecnologías y el conocimiento patentados fueron compartidos entre sus miembros, lo que benefició de manera extraordinaria a quienes estaban en desventaja tecnológica.

En tercer lugar, alentó a los fabricantes de aviones pequeños a crear empresas conjuntas que facilitaran el rápido despliegue de los aviones de guerra que incorporaban las nuevas tecnologías. Por ejemplo, el gobierno puso en marcha una empresa conjunta de Fokker y Junkers durante la I Guerra Mundial, en un intento de combinar la experiencia de Fokker en la producción a gran escala con las innovaciones de vanguardia de Junkers.³³

Por último, el gobierno alemán fue el principal comprador de aviones, lo que creaba una demanda constante. Junkers se benefició de esta demanda. Muchos de sus proyectos de investigación que aplicaban los principios más avanzados de la aerodinámica a la construcción del fuselaje fueron financiados por el gobierno. Para la II Guerra Mundial, los acuerdos entre Junkers y el gobierno alemán eran equivalentes a un compromiso de compra por adelantado.

Estados Unidos de América

Durante la I Guerra Mundial, la industria de la aviación en los EE.UU. estaba tan retrasada desde el punto de vista tecnológico que la mayoría de aviones de guerra del país eran de fabricación europea. Para remediar esta situación, el gobierno realizó fuertes inversiones para facilitar la transferencia de tecnología desde Europa y desarrollar una capacidad de investigación propia en el campo de la aerodinámica.

En primer lugar, en 1915 se creó una organización de investigación federal, el NACA, con la intención de llevar a cabo y financiar proyectos de investigación y desarrollo relacionados con las tecnologías del fuselaje y la propulsión, tanto para uso militar como para uso civil. El NACA albergó el primer túnel de viento de grandes dimensiones, capaz de alojar fuselajes a tamaño real, que fue construido en 1927. Un gran avance en el diseño de fuselajes, el capó para motores de pistones radiales refrigerados por aire, fue desarrollado allí e incorporado posteriormente a la fabricación del Douglas DC-3.

31. Por ejemplo, la *Auskunfts und Verteilungsstelle für flugwissenschaftliche Arbeiten der Flugzeugmeisterei*, el *Deutsches Forschungsinstitut für Segelflug* y el *Forschungsinstitut für Kraftfahrwesen und Fahrzeugmotoren*. El gobierno alemán también estableció departamentos de investigación en una serie de universidades, como Aachen, Berlín, Darmstadt y Stuttgart (Trischler, 1992).

32. Anderson (1997).

33. Anderson (1997) y Budrass (1998).

En segundo lugar, el gobierno financió una parte significativa de la inversión en investigación y desarrollo de fuselajes militares, de motores y de componentes relacionados a través del gasto de Defensa. Por el contrario, la industria financió menos del 20% de la inversión en investigación y desarrollo en el periodo 1945-1982. La innovación en los motores de los aviones comerciales se benefició enormemente de la adquisición de material militar y del gasto en investigación y desarrollo. El desarrollo del primer motor a reacción en los EE.UU. fue financiado enteramente por el ejército estadounidense durante la II Guerra Mundial. Asimismo, aunque el gasto militar en investigación y desarrollo no perseguía favorecer la innovación en la aviación comercial, el impacto tecnológico indirecto del sector militar en las aplicaciones en el sector civil fue una fuente importante de innovación para la aviación comercial.

En tercer lugar, en 1919 se creó la Manufacturer's Aircraft Association (MAA) – bajo la presión del gobierno de los EE.UU. – para acelerar el desarrollo y la producción de aviones. La MAA era un consorcio de patentes que compartiría todas las patentes relevantes relativas a los diseños de aviones con sus miembros (en la subsección 2.1.3 se habla más extensamente de la MAA).

Y en cuarto lugar, el gobierno facilitó el flujo de conocimiento científico en materia de aerodinámica hacia los EE.UU., contratando a importantes científicos alemanes, como Max Munk y Theodore Kármán, para la NACA y las universidades estadounidenses, con el objetivo de fomentar su capacidad de investigación. Además, Ludwig Prandtl obtuvo de la NACA un gran contrato para producir un informe que recogiera los últimos adelantos en aerodinámica (véase el cuadro 2.1 para más información sobre la contribución de Munk, Kármán y Prandtl a la aviación),³⁴

2.1.3 – Los aviones y el sistema de P.I.

La mayoría de especialistas que estudian la historia de los aviones conceden una importancia mínima a las patentes como instrumentos de una estrategia competitiva o técnica. Teniendo en cuenta las circunstancias del momento, está claro que la demanda de producción a gran escala de aviones por parte de los gobiernos y la intervención estatal desempeñaron un papel decisivo en el desarrollo de la industria aeronáutica. Esta

demanda reflejó la importancia militar de los aviones e hizo de la aviación algo único en la práctica entre las industrias que requieren un alto nivel de conocimientos en el siglo XX. Es difícil decir si – en un escenario hipotético – los avances que se produjeron en el mercado aeronáutico durante los turbulentos momentos de guerra y de amenaza bélica también se hubieran producido en circunstancias más “normales”.

Asimismo, hay pocas pruebas de patentes “de bloqueo” en las innovaciones revolucionarias de la aviación en las décadas de 1930 o 1950.³⁵ Esto se debe en parte a la naturaleza de la innovación aeronáutica, que implica optimizar la integración de un complejo subsistema de tecnologías tan diversas como la electrónica y la tecnología de materiales.

No obstante, las patentes desempeñaron un papel en el desarrollo de la industria aeronáutica en sus años iniciales, aunque es difícil calibrar su grado de importancia. Hasta cierto punto, las patentes ayudaron a los primeros inventores a obtener una rentabilidad con carácter exclusivo de sus inversiones, y alentó la difusión de tecnologías a otros países.

La obtención de rentabilidad de las inversiones

Las patentes ayudaron a los primeros inventores a obtener una rentabilidad con carácter exclusivo de sus inversiones. Los pioneros de la invención de aviones presentaron solicitudes de patentes para sus inventos, y levantaron sus empresas basándose en ellas. Las patentes evitaron que otros se aprovecharan sin costo alguno de las inversiones de los inventores y ayudaron a preservar su competitividad. Por ejemplo, Junkers evitó la importación a Alemania de aviones trimotor de Ford argumentando que el diseño de Ford infringía algunos elementos de su tecnología protegida.³⁶

Los inventores también pudieron obtener un beneficio de la concesión de licencias de sus inventos. Rohrbach, por ejemplo, concedió la licencia de su estructura de revestimiento reforzado a fabricantes británicos, japoneses e italianos hasta la década de 1930.³⁷ El ex-piloto alemán Lachmann y la firma británica Handley Page vendieron su invento del ala ranurada a varios gobiernos por un montante aproximado de 3,75 millones de

34. Hanle (1982), Hansen (1987) y Anderson (1997).

35. Mowery (2015).

36. El trimotor de Ford probablemente incorporó elementos del diseño de Junkers (Budrass, 2015).

37. Budrass (2015).

USD.³⁸ Junkers pudo sostener parcialmente su inversión en investigación y desarrollo mediante el pago de regalías por licencia de la firma británica de ingeniería William Doxford and Sons por su invento de la superficie de sustentación de alto espesor.³⁹ También recibió del gobierno alemán pagos por aproximadamente dos millones de marcos por la utilización de su invento patentado de fuselaje durante la I Guerra Mundial.⁴⁰

Asimismo, las patentes facilitaron la difusión de las tecnologías protegidas mediante la concesión de licencias. Tanto Junkers como Curtiss-Wright autorizaron tecnologías en materia de hélices de paso desarrolladas en otros lugares, en lugar de inventar las suyas propias.⁴¹ En 1923, la fábrica de aviones Kawasaki en el Japón autorizó el diseño del avión Dornier para su fabricación.

Sin embargo, el componente de divulgación de los documentos de patentes no parece haber sido un elemento importante en la difusión de las innovaciones. La publicación francesa de aviación *L'Aérophile* publicó un texto incompleto de la patente 393 de los hermanos Wright en enero de 1906. En el texto se describía con bastante detalle cómo los hermanos lograron el control lateral, pero fue algo que tuvo un impacto limitado en el desarrollo de la aviación en Europa.⁴² Otro ejemplo es el de Lachmann y Handley Page, que resolvieron de manera independiente el problema de los aviones que entraban en pérdida en pleno vuelo. Si bien Handley Page presentó su solicitud de patente después que Lachmann, la firma aseguró no estar al tanto de la patente de Lachmann.

Para mantener su competitividad, muchos de estos inventores hicieron valer sus derechos de patente por la vía judicial, con más frecuencia a nivel nacional que en el extranjero dado que los pleitos en otros países resultaban costosos. Junkers, por ejemplo, hizo valer sus derechos de patente contra sus rivales en la fabricación de aviones, como Messerschmitt, Rohrbach y Dornier, por citar algunos de ellos. Como acuerdo de compromiso, y para evitar problemas financieros, tanto Messerschmitt como Rohrbach negociaron un intercambio parcial de patentes con Junkers. En los EE.UU., sin embargo, Junkers se abstuvo de hacer valer sus patentes, y decidió solicitar acuerdos de licencia con Ford Trimotor cuando su compañía se vio en dificultades financieras.

Los hermanos Wright pleitearon con éxito contra varios de sus rivales, especialmente a nivel nacional. Esto fue así debido a la generosa interpretación de los tribunales de los EE.UU., ampliada para incluir “todos los métodos conocidos para estabilizar lateralmente un avión”. En Europa, los tribunales alemanes y franceses fueron más escépticos con respecto a su invento y aplicaron una interpretación más estricta de sus reivindicaciones.⁴³

Medidas extraordinarias en tiempos de guerra

Los esfuerzos para hacer valer las patentes, tanto de Junkers como de los hermanos Wright, subrayan dos cuestiones: los litigios de patentes podían ser costosos y la observancia de las patentes podía tener un efecto perjudicial en la construcción del avión. La segunda de las cuestiones fue la justificación a la que se recurrió para establecer consorcios de patentes en los EE.UU. y para forzar a Junkers a formar parte de una asociación similar a un consorcio.

La MAA

La MAA fue un consorcio de patentes creado en 1917 para alentar la producción a gran escala de aviones militares. Cada miembro de la MAA tenía que garantizar al resto de miembros acceso a sus patentes relativas a la estructura de los aviones, pero no a aquellas relativas a los instrumentos y los motores. La concesión de patentes a quienes no eran miembros se permitía siempre que no se hiciera en términos más favorables que los acordados para los miembros. Cualquier patente relativa al diseño de los aviones que fuera producto de una investigación financiada por el gobierno o de actividades conexas podía ser utilizada, exenta de regalías, tanto por los miembros como por los no miembros. Otras patentes fuera del ámbito de influencia de la MAA, pero que eran el resultado de proyectos para el gobierno, tenían que ser autorizadas a las agencias federales exentas de regalías. La MAA fue disuelta en 1975.

La MAA tuvo un impacto diverso en la industria de la aviación. En primer lugar, reconoció la importancia de

38. Miller y Sawers (1968).

39. Byers (2002).

40. Budrass (1998).

41. Miller y Sawers (1968).

42. Gibbs-Smith (2003).

43. Los hermanos Wright presentaron solicitudes de patentes en las oficinas de patentes francesas y alemanas en marzo de 1904. Los tribunales alemanes invalidaron la patente de los hermanos Wright con el argumento de que habían divulgado la técnica anterior al dar a conocer públicamente su invento antes de presentar la solicitud (Crouch, 2000). Los tribunales franceses parecieron inclinarse en favor de la solicitud de los hermanos, pero la decisión final se pospuso hasta después de que su patente hubiera expirado.

las patentes propiedad de los hermanos Wright y de Curtiss al conceder a ambas partes concesiones financieras. En segundo lugar, retiró la amenaza de pleito por parte de las empresas de los Wright o de Curtiss contra otras empresas constructoras de aviones. En tercer lugar, debilitó el derecho de exclusividad de las patentes en el seno de la industria. En líneas generales, la MAA garantizó que cualquier fabricante de aviones tuviera acceso y pudiera utilizar todas las tecnologías disponibles en el consorcio de patentes.

Es difícil evaluar el impacto de la MAA en la innovación aeronáutica. Hubo un boom en términos de producción de aviones en los EE.UU.: se pasó de 328 unidades en 1920 a 5.856 en 1939, de las cuales 256 y 2.195 se destinaron a uso militar, respectivamente. Pero este incremento en el número de aviones producidos en los EE.UU. también coincidió con un mayor gasto militar del gobierno, así como con otras iniciativas pensadas para estimular la producción a gran escala de aviones en tiempos de guerra.

En un estudio de 1988 se concluyó que en el periodo 1968-1972 se añadieron al consorcio de patentes un total de 121 patentes específicas en materia aeroespacial.⁴⁴ Esta cifra representó solo el 7,8% de todas las patentes dentro de la categoría aeroespacial general durante el mismo periodo, y si bien el estudio probablemente no tuvo suficientemente en cuenta las actividades innovadoras en el seno de la industria – los inventos susceptibles de patente en la aviación podían ser materia reservada por razones de interés nacional – da a entender que el consorcio de patentes tuvo una influencia escasa a la hora de propiciar que se siguiera innovando en el diseño de los aviones. No obstante, es necesario seguir investigando al respecto.

Recuadro 2.2: Transferencia tecnológica aeronáutica entre el Reino Unido y los EE.UU. durante la Segunda Guerra Mundial

En 1941, el Reino Unido y los EE.UU. firmaron el Acuerdo británico-estadounidense de intercambio de patentes para facilitar el intercambio de tecnología. En virtud de este acuerdo, se autorizaba a los fabricantes de aviones de los EE.UU. y el Reino Unido a utilizar patentes aeronáuticas de cualquiera de los dos países sin necesidad de licencia durante el tiempo que durara la guerra. El objetivo era ayudar a las fuerzas aliadas a construir tantos aviones como fueran necesarios. Al final de la guerra, cada patente fue revertida a sus propietarios originales, junto con todos los derechos y privilegios.

Fuente : Eubank (1952).

44. Bittlingmayer (1988). La USPTO designa el código CPC 244 para las cuestiones aeroespaciales.

La Asociación de Fabricantes de Aviones Alemanes

En Alemania, durante la I Guerra Mundial se realizaron varios intentos de crear un consorcio de patentes de fabricantes de aviones a través de la Asociación de Fabricantes de Aviones Alemanes. Esta Asociación se creó en 1917, en paralelo con el *Auskunfts- und Verteilungsstelle für flugwissenschaftliche Arbeiten der Flugzeugmeisterei* para propiciar el intercambio de tecnologías en el campo de la aviación entre los fabricantes de aviones alemanes.⁴⁵ Los fabricantes de aviones que querían utilizar la oficina de distribución tenían que facilitar sus tecnologías protegidas a otros miembros de la Asociación.

La Asociación debía regular el consorcio de patentes, pero era muy débil. Una de sus deficiencias era su incapacidad para convencer a Junkers, uno de los pioneros de la aviación en Alemania, a que se uniera y compartiera sus patentes.

En 1933, el gobierno nazi forzó a Junkers a que contribuyera a la Asociación con sus patentes. A partir de ese momento, todas las patentes en el campo de la aviación estuvieron sujetas a licencias obligatorias cuando se consideraba necesario. El ministro alemán del Aire fue designado como la única autoridad con competencia para promulgar reglamentos de concesión de licencias y las tasas correspondientes.⁴⁶

Si bien este consorcio de patentes fue útil para compartir los últimos adelantos en materia de aviación entre los fabricantes alemanes en la I Guerra Mundial (véase el caso de estudio alemán en la subsección 2.1.2), es difícil calibrar su efecto en las innovaciones que siguieron con posterioridad. Después de la II Guerra Mundial, las fuerzas aliadas prohibieron cualquier actividad relacionada con la aviación en Alemania y confiscaron todos los documentos técnicos relacionados con la aviación. Cualquier tecnología protegida en aeronáutica pasó a ser del dominio público y pudo ser utilizada libremente (véase recuadro 2.1).

45. Oficina para la Distribución de Información sobre Investigación Aeronáutica.

46. Budrass (1998), Byers (2002).

2.2 – Antibióticos

“En 1931, los seres humanos podían sobrevolar los océanos y comunicarse instantáneamente en todo el mundo. Estudiaban física cuántica y practicaban el psicoanálisis, sufrían campañas masivas de publicidad, quedaban atrapados en atascos de tráfico, hablaban por teléfono, erigían rascacielos y se preocupaban por su peso. En las naciones occidentales, la gente era cínica e irónica, codiciosa, feliz y entusiasta, adoraba las películas y el jazz y estaba enamorada de todas las cosas nuevas; eran, en casi todos los sentidos, completamente modernos. Pero, en al menos un sentido importante, habían progresado solo un poco más que los seres humanos de la prehistoria. Estaban prácticamente indefensos frente a las infecciones bacterianas.”

Thomas Hager

The Demon Under the Microscope, 2006

A todas luces, el descubrimiento de los antibióticos en la década de 1930 revolucionó la salud, la práctica médica y la industria.⁴⁷ El desarrollo de los antibióticos condujo a una fuerte disminución de la mortalidad y a un incremento global de la esperanza de vida en un periodo muy corto de tiempo. Es notable la reducción de la mortalidad producto de diversas enfermedades infecciosas en diferentes regiones del mundo tras la revolución de los antibióticos. Asimismo, la propagación mundial de estos medicamentos también contribuyó a una convergencia en la esperanza de vida entre países, y dentro de los países.⁴⁸

2.2.1 – El descubrimiento y desarrollo de los antibióticos y su contribución económica

Según la definición más amplia de los antibióticos como productos químicos con propiedades microbianas, tres antibióticos destacan como las principales innovaciones revolucionarias en el relato histórico que se presenta a continuación.⁴⁹ Se trata de las sulfamidas en Alemania en la década de 1930; de la penicilina en el Reino Unido en la misma década, que se produciría más adelante a gran escala en los EE.UU.; y de la estreptomycinina en los EE.UU. en la década de 1940.

No hay duda de que las sulfamidas, la penicilina y la estreptomycinina figuran entre las grandes innovaciones revolucionarias del siglo XX. Sus descubrimientos fueron reconocidos con la concesión del premio Nobel de Fisiología o Medicina a Gerhard Domagk, en 1939, a Alexander Fleming, Ernst Chain y Howard Florey, en 1945, y a Selman Waksman, en 1952. Además, estos descubrimientos generaron una serie de innovaciones subsiguientes, como las penicilinas semi-sintéticas, las cefalosporinas y una serie de antibióticos de amplio espectro.

Década de 1930 – Sulfamidas: los albores de la revolución de los antibióticos

El desarrollo de las sulfamidas fue una respuesta al altísimo precio que las infecciones se habían cobrado en los soldados durante la I Guerra Mundial. Las infecciones por estreptococo, en especial, fueron las causantes de numerosas bajas en todos los bandos durante la guerra, así como de numerosas enfermedades entre los civiles.⁵⁰

Los primeros tratamientos eficaces contra las infecciones por estreptococo fueron los efectuados con sulfonamidas – conocidas también como sulfamidas – que fueron descubiertas en Alemania después de la I Guerra Mundial. Desde finales del siglo XIX, las compañías químicas alemanas habían empezado a desarrollar la capacidad de producir alquitrán de hulla, un subproducto derivado de la producción de carbón que se convirtió en una fuerte importación de nuevos productos químicos y en la base de la industria de los tintes sintéticos. Previamente, en 1910, el químico alemán Paul Ehrlich había demostrado que los compuestos derivados de los tintes podían utilizarse para matar bacterias. Si bien estos compuestos resultaron ser tóxicos – y fueron reemplazados finalmente por la penicilina – el trabajo de Ehrlich demostró que los productos químicos sintéticos podían curar enfermedades. Esto llevó a otros investigadores de universidades e industrias químicas alemanas a buscar productos químicos para curar enfermedades infecciosas. Investigadores de la compañía alemana Bayer – dirigidos por Gerhard Domagk, director de Patología y Bacteriología – descubrieron una familia de tintes azoicos con cierto grado de éxito para destruir bacterias en tubos de ensayo.

47. Mokyr (2002).

48. Esta sección se inspira en Sampat (2015).

49. Bentley y Bennett (2003) y Bentley (2009).

50. Hager (2006).

En 1932, los científicos de Bayer idearon una variante de tinte azoico incorporando una sulfanilamida y lo probaron en ratones, descubriendo que tenía un efecto importante en la cura de infecciones por estreptococo. El mismo año, pacientes de los hospitales locales ya estaban tomando el primer tipo de sulfamida, el Streptozon. En 1935, fue rebautizado como Prontosil, después de que la información derivada de las pruebas realizadas por Bayer mostrara que era eficaz no solo contra las infecciones por estreptococo, sino también contra otras, entre ellas las infecciones por estafilococo y la gonorrea. Poco después, investigadores de todo el mundo comenzaron a realizar pruebas clínicas y de laboratorio del Prontosil utilizando muestras de Bayer. Un rasgo importante de este producto original es que se convirtió en una herramienta de investigación, entre otras cosas en su calidad de plataforma para el seguimiento de los inventos. Al incorporar la sulfamida a un tinte azoico en el lugar preciso, los investigadores de Bayer adquirieron el potencial de fabricar nuevos medicamentos contra las infecciones, abriendo el camino a un campo farmacéutico increíblemente rico.⁵¹

A finales de 1935, investigadores del *Institut Pasteur* en Francia – dirigidos por el farmacoc químico Ernest Fourneau – habían replicado versiones aproximadas del Prontosil y, lo que es más importante, descubrieron que la sulfanilamida pura era la responsable del efecto terapéutico. Este descubrimiento abrió las puertas a una investigación mundial sobre las sulfamidias, en la que los científicos descubrieron nuevas variantes contra una serie de enfermedades infecciosas. Esto derivó a su vez en el rápido desarrollo de los medicamentos relacionados con las sulfamidias. A finales de 1937, los consumidores podían comprar sulfamidias puras sin receta en cualquier farmacia bajo más de 20 marcas, y en 1945, miles de nuevas variantes de sulfamidias también estaban disponibles.⁵²

Década de 1940 – La penicilina: el “remedio mágico”

El descubrimiento de la penicilina es uno de los ejemplos más frecuentemente utilizados al referirse a los descubrimientos “fortuitos” en el campo de la ciencia. En el transcurso de un estudio patrocinado por el Consejo de Investigación Médica del Reino Unido, Alexander Fleming había preparado una placa con la bacteria del *Estafilococo* que se contaminó con una

espora de lo que posteriormente se identificaría como *Penicillium notatum*. Fleming dedujo que el moho inhibía el crecimiento de la bacteria. En 1929, publicó un artículo sobre los efectos de la penicilina.⁵³ Aunque el artículo no hizo hincapié en la utilidad clínica o médica, sí que indicó sus usos médicos potenciales. En los años posteriores, Fleming y sus colegas del hospital St. Mary's de Londres llevaron a cabo un número reducido de experimentos en seres humanos, pero obtuvieron únicamente resultados desiguales debido a la dificultad para producir penicilina con una pureza suficiente que permitiera probarla de manera adecuada.⁵⁴

Desde mediados de la década de 1930, un laboratorio en Oxford – financiado por la Fundación Rockefeller y dirigido por Howard Florey y Ernst Chain – había estado trabajando con antibióticos, basándose parcialmente en los logros obtenidos con las sulfamidias.⁵⁵ En 1940, alentados por el interés del gobierno del Reino Unido en los nuevos tratamientos contra las infecciones en tiempos de guerra, Florey, Chain y Norman Heatley fueron los primeros que lograron purificar la penicilina. Esto posibilitó la realización de pruebas clínicas adecuadas, que demostraron la increíble eficacia de la penicilina para tratar un amplio abanico de infecciones.

Tras las primeras pruebas, el siguiente desafío fue producir penicilina a gran escala. En 1941, en colaboración con Florey y Heatley, Andrew Moyer y otros científicos del Departamento de Agricultura de los Estados Unidos de América (USDA) desarrollaron un medio para la producción de la penicilina a gran escala. Un año más tarde, el gobierno de los EE.UU. convenció a las empresas de que se implicaran en la producción. Si bien esto se limitó al principio a un pequeño número de empresas, el gobierno de los EE.UU. terminaría por comprar penicilina a cualquier empresa con una capacidad comprobada. Numerosas empresas importantes del país participaron en las iniciativas de producción de penicilina en tiempos de guerra, entre ellas Pfizer, Squibb y Merck. El esfuerzo realizado durante la guerra en la década de 1940 fue un gran éxito, pasándose de la producción de laboratorio a la producción a gran escala en un periodo de tiempo asombrosamente corto y obteniendo incrementos de productividad de dos órdenes de magnitud. A partir de ese momento, las compañías que participaban en la producción de penicilina utilizaron sus capacidades de reciente creación para explorar otras oportunidades, especialmente en la investigación de antibióticos nuevos.

51. Véase Hager (2006), págs.137 y 143, Lesch (2007) y Bentley (2009).

52. Hager (2006, p.196).

53. A. Fleming, *Br. J. Exp. Pathol.* 10, 226 (1929).

54. Wainwright (1990), Kingston (2000).

55. Neushul (1993).

Las penicilinas naturales desarrolladas durante la guerra y poco tiempo después tenían algunos inconvenientes, como la dificultad para ser administradas, su efecto limitado en algunos organismos y una resistencia cada vez mayor. En 1957, el químico orgánico John Sheehan, del Massachusetts Institute of Technology (MIT), desarrolló la primera síntesis químicamente pura de la penicilina con el respaldo financiero de Bristol Laboratories. En este proceso se sintetizó también el compuesto intermedio 6-APA. Aproximadamente al mismo tiempo, Chain y científicos del Beecham Group del Reino Unido descubrieron la manera de aislar el 6-APA del caldo de fermentación. El aislamiento del 6-APA permitió el desarrollo de virtualmente cualquier estructura imaginable de la penicilina.⁵⁶ Pasó poco tiempo antes de que Bristol y Beecham empezaran a cooperar, ya que Beecham necesitaba el método de Sheehan para elaborar otras penicilinas a partir del 6-APA y la capacidad de producción de Bristol para poder incrementar la suya. Esto derivó en la producción de las primeras penicilinas semi-sintéticas, como la feneticilina, la ampicilina y la amoxicilina. Gracias a esta tecnología, estas y muchas otras empresas desarrollaron diversas variantes mejoradas de la penicilina que siguen utilizándose hoy en día.

Las décadas de 1950-60 – La estreptomycinina y otros antibióticos de amplio espectro

Incluso antes de que la penicilina fuera lanzada con éxito, otros académicos tenían desde hacía tiempo la convicción de que las bacterias del suelo podrían resultar útiles contra otros microorganismos.⁵⁷ En 1939, Merck firmó un acuerdo de investigación con el químico experto en suelos Selman Waksman, de la Rutgers University, que ya estaba investigando un tipo concreto de bacterias de suelo: los actinomicetos. El acuerdo proporcionaba a Waksman los recursos necesarios para analizar muestras de suelos y evaluar farmacológicamente los antibióticos resultantes, así como acceso a equipos técnicos a gran escala para producir cualquier descubrimiento prometedor. En 1943, Albert Schatz – uno de los estudiantes de Waksman – descubrió una bacteria procedente de las muestras de suelos y de otras fuentes que era eficaz contra la tuberculosis, y la bautizó como estreptomycinina. Después de realizar pruebas en animales, y en seres humanos en los años posteriores, el medicamento estuvo disponible en el mercado a partir de 1950.

La estreptomycinina fue importante por diversas razones. En primer lugar, ni las sulfamidadas ni la penicilina tenían mucho efecto contra la tuberculosis, que era todavía una de las causas principales de morbilidad y mortalidad en la década de 1950. Asimismo, la estreptomycinina demostró ser útil contra muchas otras enfermedades, entre ellas la fiebre tifoidea, la plaga bubónica y las infecciones del tracto urinario. Pero quizá lo más importante fue que el descubrimiento de la estreptomycinina no solo implicó únicamente la existencia de una medicina nueva, sino también la disponibilidad de una nueva herramienta de investigación que permitió a los científicos buscar muestras de suelos y otras fuentes naturales para la elaboración de antibióticos.⁵⁸

Siguiendo los pasos de la estreptomycinina, otras compañías también comenzaron a investigar muestras de suelos en busca de actividad microbiana. Entre los primeros éxitos figuraron la clortetraciclina (1948), el cloranfenicol (1948), la oxitetraciclina (1950) y la tetraciclina (1955).⁵⁹ Otra clase importante de medicamentos tempranos fueron las cefalosporinas (1964), que se basaron en el descubrimiento del científico italiano Giuseppe Brotzu del *Cephalosporium acremonium* en una alcantarilla. Muchos de estos medicamentos son destacables porque tienen un espectro más amplio que la penicilina, así como otras ventajas. Todavía se desarrollaron otras clases de antibacterianos en los años posteriores, como los nitroimidazoles, el cloranfenicol, las quinolonas, los monobactámicos, la amoxicilina-ácido clavulánico y el imipenem-cilastatina.

Con posterioridad a la revolución de los antibióticos, se constituyó una nueva industria farmacéutica que innovó en muchos ámbitos, como el desarrollo de nuevas clases de medicamentos, la creación de nuevos fármacos eficaces contra distintos tipos de bacterias o con un mejor perfil de efectos secundarios, y la introducción de mejoras en la vía y en la facilidad para su administración.

La contribución económica de los antibióticos

Hay muy pocas dudas de que los antibióticos tuvieron una fuerte repercusión positiva en la salud humana. Entre 1937 y 1943, las sulfamidadas dieron lugar a una reducción drástica de la mortalidad a causa de diversas circunstancias como la mortalidad materna, la neumonía y la escarlatina.⁶⁰ Globalmente, la esperanza

56. Mann (2004).

57. Kingston (2004).

58. Temin (1980).

59. Landau et al (1999).

60. Jayachandran et al (2010).

de vida en los EE.UU. aumentó entre un 8% y un 16% durante ese periodo. El descubrimiento de las sulfamidas y de la penicilina causó una caída marcada de la mortalidad por enfermedades infecciosas en los EE.UU.; los índices de mortalidad a causa de diversas enfermedades infecciosas habían alcanzado su nivel actual en 1960.⁶¹ También hay pruebas de retrocesos acusados en la mortalidad por tuberculosis y neumonía en todo el mundo tras la revolución de los antibióticos.⁶² Indudablemente, otros factores también contribuyeron a esta disminución, como una mejora en la nutrición y en la salud pública, entre otros. Por otra parte, los antibióticos también facilitaron otras modalidades de tratamientos – como la cirugía o los tratamientos contra el cáncer – contribuyendo también de esta manera a los avances contra otras enfermedades.⁶³ En cualquier caso, es extraordinaria la tendencia a la baja de la mortalidad tras la revolución de los antibióticos en el caso de numerosas enfermedades infecciosas en diferentes regiones del mundo (véase la figura 2.4).

Al igual que en el caso de muchas tecnologías nuevas, la difusión de las patentes fue desigual. Pero la difusión mundial de estos fármacos contribuyó a la postre a que se produjera una convergencia en la esperanza de vida.⁶⁴ Con relativa rapidez tras su descubrimiento, las sulfamidas se extendieron ampliamente por Europa y los EE.UU. Tanto las Naciones Unidas como el gobierno de los EE.UU. implantaron programas para distribuir penicilina y estreptomina a escala mundial. Igualmente, la ONU financió la construcción de nuevas fábricas en China, Checoslovaquia, Italia, Polonia, Yugoslavia y otros países.⁶⁵

En líneas generales, es difícil establecer un valor económico concreto de los beneficios derivados de las nuevas tecnologías médicas, pero la contribución económica de los antibióticos en la primera mitad del siglo XX fue indudablemente sustancial. Algunas estimaciones indican que el valor de la mejora en la esperanza de vida durante este periodo es de una magnitud equivalente a la de los beneficios sociales producto del crecimiento del PIB per cápita en el mismo periodo.⁶⁶

El impacto sin precedentes de los antibióticos en la salud humana ha afectado sin duda al crecimiento económico a través de la mejora de la fuerza laboral y la acumulación de capital humano. Como se ha mencionado, la difusión de los antibióticos a escala mundial influyó en la esperanza de vida, derivando en un incremento significativo del volumen global de la fuerza laboral y, probablemente también, de la participación en el mercado laboral.⁶⁷ Además, la mejora de las condiciones de salud tuvo un efecto en la calidad del trabajo. Unas mejores condiciones de salud, en combinación con los antibióticos, mejoraron la presencia en el empleo a corto plazo, lo que a su vez influyó en la productividad laboral. Del mismo modo, la mejora de la salud infantil influyó en la escolarización, así como en la capacidad de aprendizaje, mejorando por lo tanto la productividad laboral a largo plazo.⁶⁸

Una consecuencia de la extraordinaria difusión y del impacto económico de los antibióticos es la creciente preocupación acerca de las cepas resistentes de bacterias, algo que guarda relación con su uso sistemático no solo en el campo de la salud humana.

61. Cutler *et al* (2006).

62. Achilladelis (1993).

63. Le Fanu (2011).

64. Acemoglu y Johnson (2007).

65. FTC (1958).

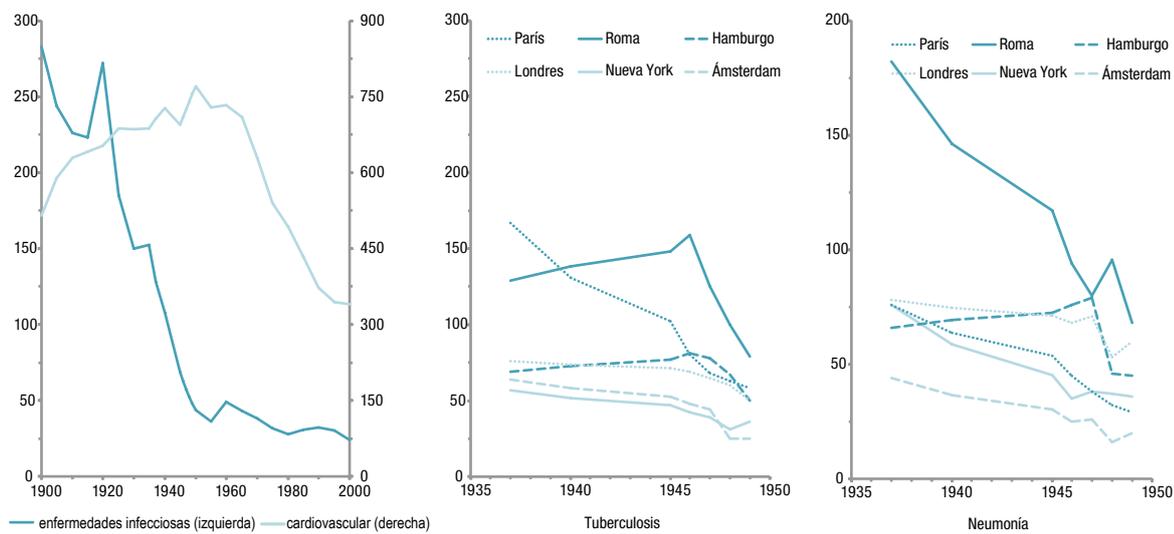
66. Nordhaus (2002).

67. Acemoglu y Johnson (2007).

68. Bhalotra y Venkataramani (2012).

Figura 2.4: El gran impacto de los antibióticos en la salud humana

Mortalidad a causa de enfermedades infecciosas, en comparación con las enfermedades cardiovasculares, y en diferentes regiones geográficas



Fuente: Cutler *et al* (2006) y Achilladelis (1993).

2.2.2 – El ecosistema de innovación de los antibióticos

El ecosistema de innovación que rodea cada descubrimiento en el terreno de los antibióticos desempeñó un papel clave a la hora de estimular la innovación. Según todos los registros históricos, los sólidos esfuerzos científicos previos – que fueron obra principalmente de instituciones académicas públicas – sentaron las bases para el posterior desarrollo comercial de los antibióticos. Asimismo, hubo factores externos – como la guerra – que tuvieron un efecto significativo en los incentivos públicos y privados destinados a la innovación en esta industria. Consecuentemente, la revolución global de los antibióticos configuró el ecosistema de innovación para seguir desarrollando antibióticos y medicinas de manera más general. No solo los nuevos descubrimientos, sino también su desarrollo comercial, tuvieron efecto en el entorno de la innovación, acercando la estructura de la industria y el marco regulador a las que observamos en la actualidad.

El impulso de la ciencia y las perturbaciones ocasionadas por la guerra

En el caso de los tres antibióticos, las innovaciones posteriores se basaron en conocimientos científicos previos, lo que demostró los fuertes vínculos entre ciencia e industria. Los cauces a través de los cuales los académicos contribuyeron a la innovación industrial fueron diversos, yendo desde la “simple” investigación científica hasta el desarrollo de ideas embrionarias que fueron desarrolladas posteriormente por la industria, pasando por el trabajo con respaldo de las empresas para desarrollar un producto potencial. También fueron diversos los cauces a través de los cuales la investigación universitaria fue transferida a la industria, como por ejemplo las publicaciones, las consultorías y la movilidad laboral. Se dio el caso de algunas concesiones de patentes a empresas, pero de manera muy diferente a lo que es habitual hoy en día.

Al igual que con muchas otras innovaciones revolucionarias en la historia, las perturbaciones ocasionadas por la guerra fueron un incentivo importante para el cambio, y las adquisiciones de material militar y la investigación y el desarrollo en el campo de la defensa desempeñaron una función especial en el desarrollo de las tecnologías de uso general (GPTs, por sus siglas en inglés).⁶⁹ De manera diferente, la guerra fue crucial en

69. Rosenberg (1969) y Ruttan (2000, 2006).

el desarrollo de los medicamentos relacionados con las sulfamidas y la penicilina. En el caso de las sulfamidas, Bayer perdió el control de sus patentes y marcas en los EE.UU. a consecuencia de las expropiaciones del gobierno estadounidense, que indirectamente empujó a la compañía a investigar nuevos productos químicos sintéticos para paliar las pérdidas.⁷⁰ Con respecto a la penicilina, el gobierno desempeñó un papel más directo a la hora de estimular la innovación, con la necesidad urgente de tratamientos eficaces durante la Segunda Guerra Mundial, lo que impulsó un programa masivo de desarrollo y producción en los EE.UU.

Lo interesante en ambos casos es que, si bien las perturbaciones y las urgencias derivadas de la guerra contribuyeron indudablemente a la demanda de innovación, ambas innovaciones se desarrollaron sobre un conocimiento científico previo. Si acaso, la guerra puede haber estimulado un aprovechamiento más rápido del conocimiento científico existente financiado por las arcas públicas. Por supuesto, no es tarea fácil establecer una dimensión concreta de este “impulso científico”. Sin embargo, un vistazo a la información histórica sobre las patentes indica que se puede asociar aproximadamente un tercio de los inventos relacionados con los antibióticos a principios de la década de 1930 a inventores que no pertenecían a la industria farmacéutica (véase la figura 2.5). Probablemente se trate de una infravaloración, porque los descubrimientos científicos no resultaron siempre en productos susceptibles de ser patentados – como en el caso de Fleming – y, cuando lo hicieron, las instituciones académicas quizá no figuraron como las solicitantes de una patente, dado que esta práctica no era tan habitual como lo es en la actualidad.

Del descubrimiento a la producción a gran escala y la comercialización

La función del sector privado para incorporar los antibióticos al mercado fue importante. Las empresas privadas fueron las responsables del aumento de la producción y el establecimiento de cauces comerciales para difundir los nuevos fármacos. Esto incluye también la producción a gran escala y la distribución para la fase de prueba. Además, estas empresas proporcionaron en muchos casos respaldo financiero para los descubrimientos científicos. Las sulfamidas

son el ejemplo más claro de esta vinculación, dado que Bayer patrocinó la investigación y la llevó a cabo en sus dependencias.⁷¹

El rol del sector privado tuvo que ver no solo con el desarrollo del descubrimiento, sino también con las innovaciones subsiguientes. Por ejemplo, las principales partes interesadas que sacaron provecho de la plataforma de las sulfamidas – incluso sin los tintes azoicos – fueron las empresas químicas que tenían experiencia con materiales de tinte, muchas de las cuales estaban radicadas en Alemania y Suiza.⁷² La figura 2.5 ilustra la tendencia creciente de las patentes relacionadas con las sulfonamidas, la penicilina y la estreptomicina, presentadas principalmente por solicitantes alemanes, suizos y estadounidenses – en su mayoría empresas privadas – incluso décadas después de los descubrimientos iniciales.

No obstante, la penicilina es un ejemplo de cuánto esfuerzo puede llegar a necesitarse para trasladar los beneficios de un descubrimiento a los usuarios finales. Como se mencionó anteriormente, uno de los desafíos principales en el desarrollo de los medicamentos conexos fue la producción de penicilina pura a gran escala con un margen rentable. Es interesante señalar que tras sintetizar la penicilina pura, Florey y Chain aparentemente hablaron de la idea con una serie de firmas farmacéuticas británicas – entre ellas Glaxo e Imperial Chemical Industries – pero se encontraron con que estas firmas carecían de la capacidad de producir penicilina a gran escala, en parte por los bombardeos durante la guerra y la preocupación por una eventual invasión alemana.⁷³ Incluso después de que científicos del USDA hubieran desarrollado un proceso de producción a gran escala, el gobierno de los EE.UU. tuvo dificultades para convencer a las empresas privadas de que se implicaran en el trabajo de producción. Para convencerlas, tuvo que coordinar las pruebas clínicas, financiar la transferencia de competencias y equipos, apoyar la investigación universitaria destinada a superar los obstáculos técnicos y fomentar el intercambio de información técnica.⁷⁴

70. Hager (2006).

71. Hager (2006).

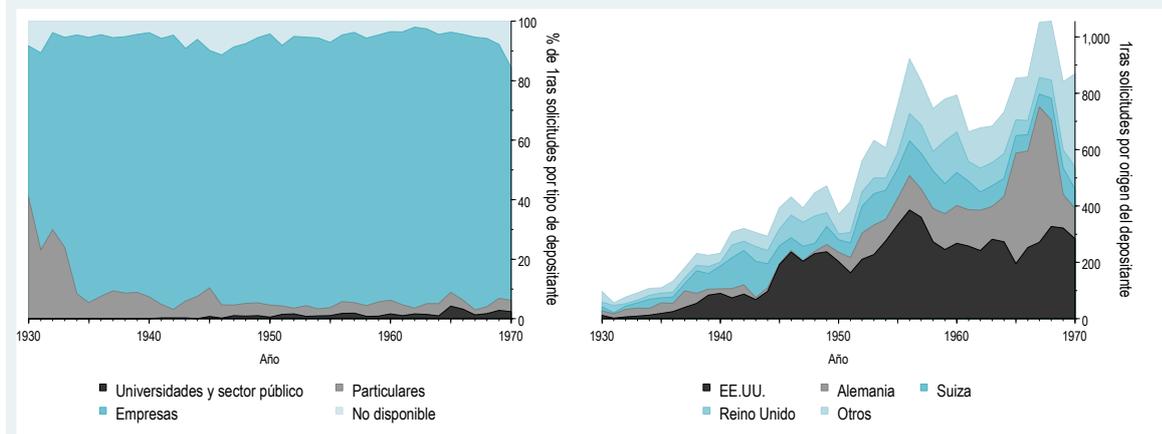
72. Achilladelis (1993).

73. Wainwright (1990).

74. Neushul (1993).

Figura 2.5: La transformación de la innovación en antibióticos

Primeras solicitudes relacionadas con sulfamidas, penicilinas y estreptomicinas por tipo y origen geográfico del solicitante, 1930-1970



Fuente: OMPI, a partir de la base de datos PATSTAT (véanse las notas técnicas).

Tras el aumento de la utilización de la penicilina durante la guerra, la industria farmacéutica se transformó por completo y las empresas internalizaron y formalizaron el proceso de investigación y desarrollo. Las empresas se transformaron en firmas integradas verticalmente con divisiones de investigación, fabricación y ventas, dedicadas al descubrimiento, la fabricación y la comercialización de fármacos. Las patentes y las marcas, en combinación con una comercialización agresiva, se convirtieron en aspectos esenciales del modelo de negocio. También hubo economías de escala que alentaron la concentración.⁷⁵ A la rápida incorporación de empresas tras el periodo inicial de innovación en el campo de la penicilina durante y después de la II Guerra Mundial, le sucedieron a partir de ese momento incorporaciones mucho más lentas y, posteriormente, la salida de muchas compañías del mercado.⁷⁶ Quienes se incorporaron en la primera fase fueron los responsables de buena parte de la producción de penicilina hasta la década de 1970, lo que sugiere un creciente rendimiento de la investigación y el desarrollo. El desarrollo de las penicilinas sintéticas facilitó una nueva ronda de incorporaciones al sector, aunque las firmas más potentes siguieron siendo las grandes protagonistas. La estreptomicina tuvo todavía un número relativamente alto de proveedores, pero los fármacos que se introdujeron más tarde solían tener únicamente un proveedor, o un puñado de proveedores, en cada mercado.

Las innovaciones revolucionarias y el marco regulatorio

En la fase inicial del desarrollo de los antibióticos, todavía existía el requisito de realizar pruebas a gran escala. Una serie de fallecimientos en los EE.UU., relacionados con algunas de las primeras sulfamidas, contribuyeron a la aprobación de la Ley Federal de Alimentos, Medicamentos y Cosméticos de 1938, que otorgó poderes a la Administración de Productos Alimenticios y Farmacéuticos de los Estados Unidos (FDA, por sus siglas en inglés) para regular la seguridad y la eficacia de los fármacos.⁷⁷ Entre otras cosas, la Ley Federal estableció que era necesario que los fármacos fueran prescritos por los médicos, en lugar de venderse sin receta. En las décadas de 1950 y 1960, las informaciones sobre las anomalías congénitas derivadas de la talidomida y el auge de la comercialización agresiva contribuyeron a una nueva ola de regulación. Una preocupación especial de las empresas farmacéuticas fue el exceso de prescripción de combinaciones a dosis fijas de los antibióticos existentes, como la penicilina y la estreptomicina. Las compañías comercializaron de forma generalizada estas combinaciones con escasas pruebas acerca de su eficacia, lo que contribuyó a la resistencia bacteriana.⁷⁸ Entre otras correcciones, lo que persiguió la legislación fue establecer un estándar de eficacia en la FDA para garantizar que los fármacos funcionaran, así como fomentar la competitividad.⁷⁹ En 1962, la Ley de Enmienda Kefauver-Harris contribuyó a

75. Temin (1979, 1980).

76. Klepper y Simons (1997).

77. Temin (1979, 1980).

78. Podolsky (2015).

79. Carpenter (2014).

modernizar la FDA al institucionalizar la necesidad de realizar pruebas clínicas aleatorias antes de aprobar un fármaco.

La mayoría de los países europeos también ha reforzado sus reglamentos sobre aprobación de productos desde la década de 1960. La Ley de Medicamentos del Reino Unido de 1971 fue el paralelismo más cercano a la regulación estadounidense, pero en otros lugares de Europa la regulación continuó siendo menor que en los EE.UU. y el Reino Unido. En Alemania, incluso tras la tragedia de la talidomida, hubo una gran oposición a la regulación de los fármacos y existía la convicción de que la industria farmacéutica podía autorregularse. Francia, el Japón e Italia también fueron mucho menos exigentes que los EE.UU. Los reglamentos nacionales sobre fármacos variaron considerablemente en Europa, al menos hasta la década de 1990.⁸⁰

Los cambios en la reglamentación a finales de la década de 1930 en los EE.UU. contribuyeron sin duda a cerrar numerosos comercios minoristas que vendían fármacos de mala calidad y estimularon la búsqueda de variantes menos tóxicas de las sulfamidas. Los reglamentos más estrictos de las décadas de 1960 y 1970 en los EE.UU. y el Reino Unido también influyeron en la estructura de la industria, lo que forzó la salida del mercado de las empresas menos fuertes y con menos presencia internacional. Estos cambios aumentaron el coste del desarrollo y la aprobación de los fármacos, pero probablemente también penalizaron a las empresas menos innovadoras. En cualquier caso, estos cambios modificaron sin duda las estrategias de comercialización de las compañías farmacéuticas en las décadas posteriores. Asimismo, otra consecuencia de los reglamentos fue que se establecieron relaciones más sólidas entre la industria y las universidades, dado que la existencia de pruebas clínicas cada vez más exigentes y complejas requería del acceso a hospitales con capacidad de formularlas y aplicarlas.⁸¹

2.2.3 – Los antibióticos y el sistema de P.I.

La P.I. ha desempeñado diversas funciones en la historia de los diferentes antibióticos, y existe gran número de datos empíricos sobre el potencial y los límites de la protección en materia de P.I. Se pueden observar numerosos casos en los que los descubrimientos científicos y los métodos de producción han sido patentados, pero muchos otros en los que no lo han sido. También ha habido un uso sistemático de las marcas, que a menudo ha sido soslayado o poco valorado. Asimismo, al igual que ocurre con otros aspectos reguladores, las innovaciones revolucionarias en el campo de los antibióticos han influido en el sistema de P.I., al menos en la misma medida en que el sistema ha estimulado la innovación.

Apropiación de la innovación a través de las patentes

Uno de los objetivos del sistema de patentes es fomentar la innovación mediante la obtención de derechos exclusivos sobre las invenciones. Esto parece haber ofrecido a Bayer el incentivo necesario para desarrollar las sulfamidas. El 25 de diciembre de 1932, Bayer presentó la primera solicitud de patente relacionada con las sulfamidas – titulada “Procesos para la producción de compuestos azoicos” – que fue concedida en 1935.⁸² Inmediatamente, Domagk y otros científicos de Bayer comenzaron no solo a patentar este compuesto, sino también a descubrir y patentar todos los compuestos relacionados que funcionaban satisfactoriamente. En la década de 1960, habían presentado solicitudes para más de 50 patentes nuevas relacionadas con las sulfamidas. Esta práctica activa de solicitud de patentes ya era generalizada en el sector químico alemán. Entre 1905 y 1915, la empresa química alemana Hoechst presentó no menos de 20 solicitudes de patente basadas en la investigación de Ehrlich. La mayoría de ellas eran patentes de procedimiento, ya que Alemania – al igual que la mayoría del resto de países en aquella época – no permitía las patentes de productos en la industria farmacéutica.⁸³ En la práctica, Bayer no patentó la molécula, sino únicamente la plataforma de investigación para combinar los tintes azoicos y las sulfonamidas, que dejó de tener importancia tras el descubrimiento del *Institut Pasteur*.

80. Vogel (1988), McKelvey *et al* (2004) y Carpenter (2014).

81. McKelvey *et al* (2004).

82. Patente DE 607 537.

83. Esta ley no cambió hasta 1968 en Alemania.

Asimismo, el Reino Unido no autorizó la concesión de patentes por productos hasta 1949, Francia hasta 1967 e Italia hasta 1978. Véase Dutfield (2009).

Por el contrario, la historia de la penicilina se suele ver como una historia en la que las patentes no desempeñaron un gran papel incentivador, dado que no había patentes para el descubrimiento o la síntesis de la penicilina pura.⁸⁴ Si bien algunas voces han sugerido que el hecho de que Fleming no patentara la penicilina fue una de las razones por las cuales tardó tanto tiempo en ser comercializada, otras rechazan este argumento aduciendo que había un margen limitado para patentar lo que Fleming describía en sus artículos. De igual manera, hay quienes argumentan que, incluso en el caso de que el equipo de Oxford hubiera solicitado la protección que confieren las patentes, el resultado hubiera sido incierto por muchas razones: el moho de la penicilina era un producto natural; la concesión de patentes por productos en la industria farmacéutica no se instituyó en el Reino Unido hasta 1949; y el equipo investigador había revelado el proceso de síntesis en una publicación antes de que empezaran a estar interesados en patentarlo.

En cualquier caso, algunas patentes sí que protegieron el proceso para la producción de penicilina a gran escala. En 1944, Moyer y Robert Coghill presentaron una solicitud de patente del “Método para la producción de un mayor rendimiento de la penicilina”, que fue concedida en 1947 y cedida al USDA.⁸⁵ El no reconocimiento de los colaboradores británicos se convertiría posteriormente en fuente de controversia en el Reino Unido, donde algunos investigadores británicos afirmaron que los investigadores de los EE.UU. habían privatizado un descubrimiento público. En cualquier caso, el convencimiento de que el Reino Unido había salido perdiendo con la penicilina hizo que posteriormente los investigadores británicos fueran más proclives a patentar otros descubrimientos.⁸⁶ También cabe destacar que en torno a la misma época muchas firmas del Reino Unido y de los EE.UU. – como May & Baker, Glaxo, Eli Lilly y Merck – también presentaron solicitudes de patente relacionadas con el proceso de producción de la penicilina.

La importancia de las patentes para incentivar el desarrollo de antibióticos posteriores es más evidente. La investigación de estos antibióticos trataba explícitamente de desarrollar moléculas nuevas y exclusivas, en una época en la que la competencia en materia de precios de los antibióticos de primera generación hacía que ese sector no fuera rentable. En concreto, el descubrimiento de la estreptomina fue el resultado de este nuevo planteamiento, aunque en última instancia la P.I. relacionada con este fármaco se protegió relativamente sin restricciones. La investigación que condujo al descubrimiento fue realizada en el marco de un acuerdo entre Merck y Waksman que tenía por objeto el descubrimiento de antibióticos que serían patentados a cambio de ayuda para la investigación y el desarrollo, y a cambio de pruebas clínicas. En 1945, Waksman y Schatz presentaron la primera solicitud de patente relacionada con la estreptomina, que se asignó a la Rutgers Research and Endowment Foundation en 1948.⁸⁷ En la práctica, esto significó que la molécula de la estreptomina estaba protegida por una patente – aunque no por Merck – al tiempo que la plataforma de investigación seguía siendo de dominio público. Algunos estudiosos argumentan que este escenario fue fundamental para promover la continuidad en la innovación.⁸⁸ La posibilidad de patentar productos de la naturaleza, combinado con la libertad de emplear los métodos para buscarlos, aumentó las posibilidades de que muchos de los antibióticos posteriores fueran susceptibles de ser patentados, no solo para Merck sino para el conjunto del sector.⁸⁹

El caso de la penicilina sintética también refleja el cambio de las funciones que desempeñaban las patentes en la industria de los antibióticos. Según la explicación de Sheehan, la posibilidad de patentar las penicilinas sintéticas después de la guerra fue mucho más importante para las empresas farmacéuticas de lo que lo fue en el caso de las penicilinas naturales durante la guerra. En 1957, Sheehan – que ya figuraba como inventor en más de 10 solicitudes de patente relativas a la penicilina y la estreptomina en Merck – presentó una solicitud de patente en los EE.UU. para la penicilina sintética. El mismo año, Beecham Group presentó una solicitud de patente relacionada con la penicilina sintética en el Reino Unido, que fue concedida en 1960.⁹⁰ Beecham Group ha manifestado que la decisión original de ampliar a las penicilinas semi-sintéticas la investigación en

84. Bentley (2009).

85. Patente de los Estados Unidos de América 2.423.873.

86. Véase Wainwright (1990). Por ejemplo, Florey presentó una solicitud de patente en 1952 sobre el proceso para producir cefalosporina, que se basaba en el descubrimiento de Brotzu (patente de los Estados Unidos de América. 2.883.328).

87. Patente de los Estados Unidos de América 2.449.866.

88. Temin (1980), y Merges y Nelson (1990).

89. Kingston (2001).

90. Patente GB 838,974.

materia de medicamentos, así como el trabajo de base que había conducido al descubrimiento y al desarrollo de las nuevas penicilinas, no hubieran tenido lugar sin el incentivo de la protección de las patentes.⁹¹

Marcas, el otro medio de apropiarse la innovación

Incluso sin patentes aplicables tras el descubrimiento del *Institut Pasteur*, Bayer todavía se las arregló para obtener ingresos significativos procedentes de las sulfamidas. Bayer aseguró su ventaja competitiva utilizando su condición de ser el primer medicamento de su clase terapéutica, marca y solidez en las ventas. El reconocimiento de la marca, protegida por las marcas registradas, demostró ser una estrategia provechosa especialmente para Bayer y, de manera más general, para la industria.⁹² Bayer comercializó sus sulfamidas primero como Streptozon y más tarde como Prontosil, Prontylin y Prontalbin.

De manera muy parecida a lo que los alemanes hicieron con las sulfamidas, las empresas empezaron a utilizar agresivamente las marcas para intentar fortalecer y prolongar sus posiciones en el mercado. Esto fue especialmente importante en un momento en el que había una competencia significativa entre iguales, que ejerció una presión sobre los precios de los primeros antibióticos.⁹³ En 1954, más de 100 antibióticos habían sido comercializados en los EE.UU. bajo más de 600 nombres comerciales, lo que evidentemente creó mucha confusión entre los médicos.⁹⁴ Relacionado con esto, las empresas empezaron a invertir en publicidad dirigida a los facultativos. La mayoría de las empresas importantes realizaron fuertes inversiones para ampliar sus equipos de ventas. El resultado fue que la comercialización y las ventas pasaron a ser para las compañías farmacéuticas al menos tan importantes como la investigación y el desarrollo. Las empresas dedicaron aproximadamente un tercio de sus ingresos promedio por ventas a la mercadotecnia, pero menos de una sexta parte a actividades de investigación y desarrollo.⁹⁵

Divulgación, colaboración y difusión

Otro de los objetivos del sistema de patentes es fomentar la divulgación. Según algunos autores que tratan del desarrollo de las sulfamidas, Bayer estaba preocupado por las consecuencias de publicar el invento, lo que causó un retraso a la hora de solicitar la protección de la patente hasta que se descubrieron otras variantes de las sulfamidas. No había manera alguna de lograr una protección indefinida, porque su trabajo anterior ya indicaba que cualquier cantidad de derivados azoicos podían ser activos como medicamentos. Bayer no pudo patentarlos todos, pero el hecho de retrasar la solicitud dio tiempo para descubrir y patentar los mejores.⁹⁶ Tras la concesión de la primera patente, Domagk publicó un artículo sobre el descubrimiento y Bayer lo cedió de manera más amplia para la realización de pruebas, también en los hospitales.⁹⁷ Sin embargo, debido a la preocupación por la ingeniería inversa, Bayer aparentemente luchó para prevenir la divulgación total al redactar las patentes. La publicación de la principal patente de sulfamidas reveló la manera de replicar el Streptozon, al menos de manera imprecisa.⁹⁸ Independientemente de si la fuente fue la publicación científica o la documentación de la patente, la divulgación acabó permitiendo a los investigadores del *Institut Pasteur* experimentar e identificar la sulfanilamida, una molécula ya conocida, como el ingrediente clave. La divulgación y los inventos posteriores en torno a las patentes existentes incentivaron sin duda el descubrimiento, lo que dejó sin valor las patentes de Bayer.

91. Taylor *et al* (1973), p.259.

92. Dutfield (2009).

93. Temin (1979, 1980).

94. Welch (1954).

95. Achilladelis (1993).

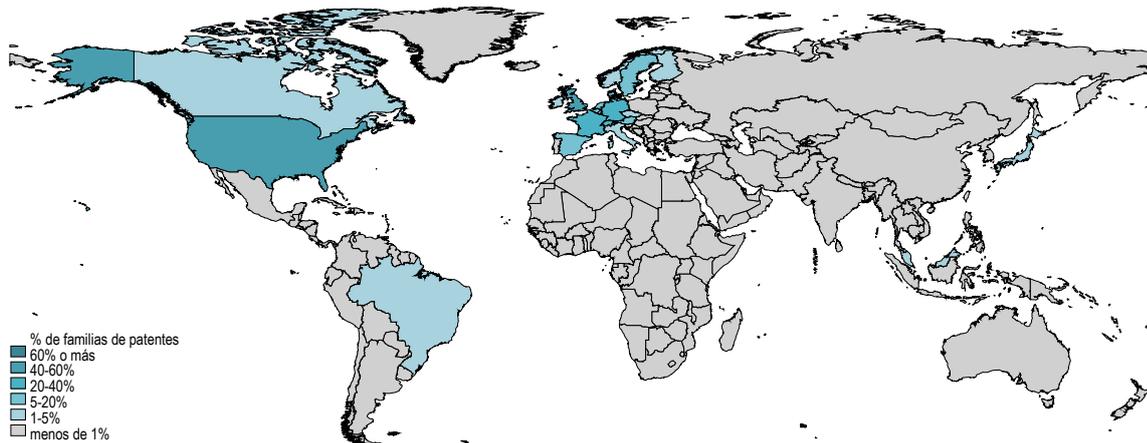
96. Hager (2006).

97. G. Domagk (1935) en *Dtsch. Med. Wochenschr*, 61, pág.573.

98. Hager (2006).

Figura 2.6: Se buscó una protección limitada por patente para los antibióticos fuera de EE.UU. y el Reino Unido

Porcentaje de familias de patentes de todo el mundo habiendo solicitado protección en un país concreto, antes de 1970



Fuente: OMPI, a partir de la base de datos PATSTAT (véanse las notas técnicas).

El facilitamiento de un marco para la divulgación también favorece la colaboración. Según las propias explicaciones de los investigadores que fueron pioneros en esta materia, las patentes permitieron a la comunidad académica y a la industria farmacéutica cooperar para producir las primeras penicilinas semisintéticas. Una de las razones de Sheehan para obtener una patente era poder colaborar con más libertad con Bristol Laboratories.⁹⁹ De igual forma, la protección de las patentes permitió a Beecham persuadir a Bristol de que compartiera sus conocimientos en lo referente a la fabricación. Por desgracia, este esfuerzo de colaboración se acabó viniendo abajo y se entabló un largo litigio judicial para dirimir si Sheehan o Beecham Group tenían prioridad con respecto a la 6-APA. Este litigio se resolvió en favor de Sheehan in 1979. Como ya se ha comentado, la colaboración investigadora que condujo a Rutgers y Merck a la elaboración de la estreptomicina también tuvo el respaldo de los derechos de patente.¹⁰⁰

Todos estos inventos revolucionarios fueron divulgados con rapidez y a un bajo coste dentro de los países industrializados, lo que sugiere que las patentes no fueron un impedimento. Como se mencionó anteriormente, tras el descubrimiento francés, el compuesto básico de las sulfamidias no fue patentable y parece que ocurrió

lo mismo con el descubrimiento de la penicilina a cargo de Fleming. Esta ausencia de patentabilidad ayudó a estimular una difusión generalizada. En el caso de la estreptomicina, Merck aceptó conceder la licencia de manera amplia debido a las presiones de Waksman y Rutgers. Además, las patentes por productos no estaban fácilmente disponibles, ni siquiera en los países desarrollados, hasta finales de la década de 1960, y la mayoría de países en desarrollo no autorizaron las patentes de productos farmacéuticos hasta después del Acuerdo sobre los Aspectos de los Derechos de Propiedad Intelectual relacionados con el Comercio (Acuerdo sobre los ADPIC) en 1995.¹⁰¹ Diversos estudiosos han destacado que, a pesar de ello, fue necesario un periodo de tiempo considerable hasta que los antibióticos más revolucionarios se difundieron en los países en desarrollo.¹⁰² Asimismo, muchas de las enfermedades infecciosas que se tratan con estos antibióticos siguen representando un problema incluso en nuestros días, cuando las patentes han expirado sin lugar a dudas. Un vistazo a la serie histórica de patentes de antibióticos indica que éste no fue únicamente el caso en los países en desarrollo (figura 2.6). En una proporción importante de las patentes presentadas antes de la década de 1970, sólo se solicitó protección en el Reino Unido y en los EE.UU., lo que hizo que la mayoría de los inventos fueran accesibles en territorios con numerosas compañías competidoras, como Alemania, Francia, Suiza y el Japón.

99. Sheehan (1982).

100. No obstante, hubo una controversia acerca de si Waksman o Schatz merecían el reconocimiento por el descubrimiento y también las regalías. La controversia terminó con un fallo judicial en los Estados Unidos de América en 1950 en favor de compensar a Schatz.

101. Deere (2008).

102. Cutler *et al* (2006).

La co-evolución del sistema de patentes con la ciencia y la industria

La revolución de los antibióticos creó en gran medida la industria farmacéutica, forjando también los cambios drásticos que se produjeron dentro del sector en los años posteriores. Como sugiere la descripción previa sobre los antibióticos de amplio espectro, las primeras innovaciones revolucionarias generaron beneficios y crearon capacidades que se desplegarían más adelante en la investigación de otros antibióticos y otros fármacos. Para todas las clases de fármacos, esta investigación posterior se centró de manera concreta en la obtención de inventos patentables para ser producidos de manera exclusiva. Esto contó con el apoyo de empresas grandes e integradas verticalmente, que eran activas en el área de la investigación. Los litigios sobre patentes y la competición para la obtención de patentes pasaron a ser habituales. Una vez que las empresas obtenían las patentes, se llevaba a cabo una intensa comercialización de los fármacos. Este crecimiento de la comercialización, combinado con la preocupación acerca de un uso inadecuado y de los altos precios, propició una nueva regulación de los medicamentos, lo cual se considera que incrementó a su vez los costes de desarrollo de los fármacos y, quizá también, la importancia de la protección por patente.

Una lección extraída de las innovaciones revolucionarias es que la ciencia, la tecnología, el derecho y las estrategias de las empresas evolucionan a la par. Esto dificulta en extremo desentrañar la función causal que tienen las patentes y otros derechos de propiedad intelectual en la innovación. Es difícil determinar cómo hubieran evolucionado los antibióticos revolucionarios con patentes más vulnerables o más sólidas. Sin embargo, es mucho más evidente que, mediante la creación de capacidades productivas y beneficios económicos que permitieron innovaciones posteriores y mediante su impronta en las leyes, normas técnicas y estrategias empresariales en materia de patentes, la revolución de los antibióticos contribuyó a crear la industria farmacéutica con intensidad de uso de patentes que conocemos hoy en día.

La estreptomycin fue uno de los precedentes que indujeron cambios en la legislación de los EE.UU. en materia de patentes. Previamente, había sido necesario un “fogonazo de genio creativo” para establecer la patentabilidad. Este estándar supondría un impedimento para muchas patentes de antibióticos, que fueron desarrollados con técnicas de sobra conocidas.

La Ley Federal de Patentes de 1952 cambió el requisito del “genio creativo” por el de la “no evidencia”, que posiblemente fue más propicio para la obtención de patentes procedentes de esfuerzos rutinarios de investigación y de desarrollo a gran escala.¹⁰³ Otros países siguieron los pasos de poner en práctica los requisitos de no evidencia o “actividad inventiva”, como el Japón en 1959, Suecia en 1967, Francia en 1968 y el Reino Unido en 1968.¹⁰⁴ La concesión de una patente sobre la composición de la materia fue un precedente importante para la industria farmacéutica, al igual que lo fue la aparición del requisito de no evidencia.

Aproximadamente en la misma época, otros cambios en la legislación de los EE.UU. tuvieron por objeto establecer un estándar de eficacia en la FDA que garantizara el funcionamiento de los fármacos y eliminara el principio del “café para todos” en las patentes y los medicamentos con una combinación a dosis fijas.¹⁰⁵ El proyecto de ley original de la Ley de Enmienda Kefauver-Harris también incluyó disposiciones relativas a las licencias obligatorias, esencialmente autorizando el acceso al mercado al cabo de tres años, a cambio de unas regalías razonables. Probablemente, estas enmiendas reglamentarias tuvieron su origen en la preocupación acerca del efecto negativo de los monopolios de las patentes de antibióticos, y se alude a ellas con frecuencia como uno de los motivos por los cuales la protección por patentes es más importante en la industria farmacéutica que en otros sectores. Por un lado, las pruebas incrementaron significativamente los costes en investigación y desarrollo, generando la necesidad de plazos largos en las patentes para recuperar las inversiones. Por otro lado, la necesidad de realizar pruebas dificulta la tarea de inventar relacionada con una patente: se puede modificar una molécula, pero es costoso introducir esta molécula modificada en el mercado, ya que son necesarias nuevas pruebas de coste elevado.

Antes de la década de 1970, las universidades eran renuentes a implicarse activamente en actividades relacionadas con las patentes y las licencias, especialmente en el caso de las tecnologías relacionadas con la salud.¹⁰⁶ En casi todos los casos tratados, los especialistas se mostraron algo inquietos a la hora de patentar tecnologías relacionadas con la salud pública. Las universidades eran igualmente reacias.

103. Dutfield (2009) y Kingston (2004).

104. Kingston (2001).

105. Carpenter (2014).

106. Mowery y Sampat (2001a, b).

Por ejemplo, el cesionario de la patente de Sheehan sobre la penicilina sintética no fue el MIT, sino la Research Corporation – un agente de transferencia de tecnología fundado en 1912 – que se hizo cargo de las patentes académicas de numerosas instituciones en el periodo de posguerra. Las instituciones académicas no solo eran reacias a implicarse en la concesión de licencias de patentes; cuando lo hacían, como en el caso de la estreptomina, preferían adoptar un enfoque amplio y favorecer una mayor competencia. En los EE.UU., las universidades empezaron a ser menos reacias a implicarse en las patentes y en la concesión de licencias a los inventos médicos en las décadas posteriores. A causa de una serie de acontecimientos que culminaron con la Ley Federal Bayh-Dole de 1980, la política federal fue apoyar las patentes y las licencias exclusivas para los resultados de la investigación médica pública. Lo que sigue sin estar claro es si este enfoque centrado en las patentes y las licencias ha influido, y de qué manera lo ha hecho, en las otras variantes de interacción entre el mundo universitario y la industria, así como en los cauces de transferencia tecnológica que eran importantes para las innovaciones revolucionarias.¹⁰⁷

Como se mencionaba en la subsección 2.2.1, hay una preocupación creciente acerca de las cepas de bacterias resistentes a los antibióticos. Hay quien afirma que esto tendrá un impacto significativo en el desarrollo de antibióticos nuevos, impulsando cambios en el marco institucional y regulador relacionado con la industria farmacéutica, lo que potencialmente incluiría al sistema de patentes.¹⁰⁸ Sin embargo, aún no está claro cómo se desarrollarán estas dinámicas.

2.3 – Semiconductores

“Los circuitos integrados derivarán en maravillas tales como las computadoras en los hogares... los controles automáticos en los automóviles y los equipos personales de comunicación portátil. El reloj de pulsera electrónico solo necesita un diseño para ser viable hoy mismo.”

Gordon Moore,
co-fundador de Intel, 1965

Un semiconductor es un material que puede conducir la electricidad únicamente cuando se cumplen determinadas condiciones. Esta propiedad lo convierte en un buen medio para el control de la corriente eléctrica y permite que los dispositivos de material semiconductor cambien, amplifiquen o conviertan la corriente eléctrica. La tecnología de semiconductores está en el origen del desarrollo del sector de la información y la comunicación (TIC) y de la economía digital de nuestros días. La invención de los semiconductores condujo al rápido aumento de los ordenadores centrales y, posteriormente, de las computadoras personales (PC, por sus siglas en inglés), dando lugar a su vez a la informatización de industrias enteras y de entidades como hospitales, escuelas, medios de transporte y hogares.¹⁰⁹

2.3.1 – El desarrollo de los semiconductores y su contribución económica

La palabra “semiconducción” fue empleada por primera vez por Alessandro Volta en 1782 cuando experimentaba con las propiedades eléctricas de los materiales. El avance tecnológico que representaron los semiconductores dependió de una serie de hallazgos científicos e inventos tecnológicos, y culminó con la invención del microprocesador, que está en el núcleo de cualquier PC o dispositivo con poder de procesamiento.

La historia de los semiconductores se puede dividir en cuatro periodos: las válvulas de vacío, los transistores, los circuitos integrados (ICs, por sus siglas en inglés) y los microprocesadores. En pocas palabras, los microprocesadores consisten en un elevado número de circuitos integrados, que a su vez no son más que un manojo de porciones de transistores conectadas en un chip.

107. Mowery *et al* (2004).

108. Otterson *et al* (2007), So *et al* (2011) y Jaczynska *et al* (2015).

109. Esta sección se basa en Hoeren (2015a).

Las válvulas de vacío (1900-1945): el establecimiento de la base científica de los semiconductores

Tras más de una década de investigación científica, Jagadish Bose obtuvo en 1904 la primera patente para un dispositivo que aprovechaba las propiedades de los semiconductores en la detección de ondas electromagnéticas para su utilización en la radio.¹¹⁰ En 1908, Lee De Forest patentó el tríodo de la válvula de vacío, un dispositivo para detectar y amplificar señales débiles de radio.¹¹¹ Estos dispositivos también se utilizaron como rectificadores para convertir la corriente alterna en corriente directa. La I Guerra Mundial representó un gran estímulo al desarrollo de nuevas generaciones de amplificadores y su producción a gran escala. El volumen creciente de tráfico telefónico generó una demanda adicional de amplificadores.¹¹² Después de la guerra, los amplificadores basados en las válvulas de vacío fomentaron el desarrollo de la telefonía, la radio y las computadoras.

Sin embargo, las válvulas de vacío planteaban una serie de problemas técnicos. El metal en el interior de las válvulas se quemaba, y las válvulas eran demasiado grandes, poco fiables y consumían demasiada energía. Durante la II Guerra Mundial, las fuerzas armadas, especialmente en los EE.UU., demandaron grandes cantidades de receptores de radar de alta calidad. Al mismo tiempo, en el Reino Unido, las necesidades militares y los esfuerzos realizados en Bletchley Park condujeron al desarrollo de la primera computadora electrónica programable: Colossus.

Aunque las válvulas de vacío eran más fiables y permitían más aplicaciones que las tecnologías anteriores, sus deficiencias comenzaron a ser crecientemente evidentes al ser producidas industrialmente, lo que planteó un importante reto investigador.

Los transistores (1945-década de 1950): del invento de Bell a la innovación por parte de empresas (rivales)

Después de la guerra, Bell Telephone Labs, una subsidiaria de American Telephone & Telegraph (AT&T), se convirtió en una de las fuerzas motrices de la futura innovación en la industria. En diciembre de 1947, Bell anunció la invención – fortuita – del transistor a

cargo de un equipo investigador dirigido por William Shockley. Poco tiempo después, Shockley abandonó Bell para establecer su propia compañía, Shockley Semiconductor Laboratory. Los transistores desempeñaron un rol crucial en el desarrollo de los dispositivos electrónicos. Su pequeño tamaño, baja generación de calor, alta fiabilidad y escasa necesidad de energía permitieron la miniaturización de un sistema complejo de circuitos como el que se necesita para las computadoras.

Los investigadores y las empresas europeas también estaban lo suficientemente adelantados desde un punto de vista tecnológico para poder desarrollar y producir transistores. En agosto de 1948, los físicos alemanes Herbert Mataré y Heinrich Welker, que trabajaban para la Compagnie des Freins et Signaux Westinghouse en Francia, presentaron una solicitud de patente para “*le transistron*”. Su investigación era independiente, al tiempo que competidora, de la investigación que llevaba a cabo Bell Labs. Solo una semana después del anuncio de Bell, en los Países Bajos, Philips produjo un transistor operativo, seguido poco después por Thomson-Houston de Francia, y General Electric Corporation and Standard Telephones and Cables del Reino Unido.¹¹³

Una sucesión de innovaciones en los productos y los procesos perfeccionó el primer transistor, lo que condujo a la postre a la invención del transistor planar a cargo de Jean Hoerni. Hoerni acababa de abandonar Shockley Semiconductor para crear Fairchild Semiconductor.

Los circuitos integrados (1960s): el auge de las nuevas empresas individuales y la ley de Moore

El sucesor del transistor, el circuito integrado, fue desarrollado y patentado independientemente en 1959 por Jack Kilby, de Texas Instruments, y Robert Noyce, de Fairchild Semiconductor.¹¹⁴ Las investigaciones independientes realizadas en Europa estaban llevando a los científicos en una dirección parecida. En 1952, el físico británico G.W.A. Dummer tuvo la misma intuición que Kilby. Basándose en su idea, la compañía británica Plessey produjo el primer modelo de circuito integrado en el mundo.

110. Patente de los Estados Unidos de América 755.840.

111. Patente de los EE.UU. 879.532.

112. Levin (1982).

113. Malerba (1985).

114. Kilby ganó el Premio Nobel de Física en 2005 por este invento revolucionario.

El precio del circuito integrado era competitivo en comparación con los transistores discretos, lo que aseguró una rápida difusión de la tecnología y, especialmente, su uso en ordenadores centrales con fines militares o en grandes empresas, y mucho más tarde en computadoras de gran tamaño en empresas y laboratorios. Los avances en miniaturización y la creciente potencia de computación de los circuitos integrados pasaron a ser el objetivo de la industria de los semiconductores. La predicción que hizo en 1965 Gordon Moore, uno de los fundadores de Fairchild Semiconductor e Intel, de que el número de transistores con un único chip se duplicaría cada 12 meses – predicción que revisó posteriormente a cada 24 meses – demostró ser muy acertada en la década posterior, y es conocida hoy como la ley de Moore.

Los microprocesadores (década de 1970-década de 1990): la aplicación de los semiconductores a las computadoras personales

Los microprocesadores posibilitaron el auge de las computadoras personales, que llevaron la computación a los hogares y los pequeños negocios. Los microprocesadores eran mucho más complejos que los circuitos integrados. Un solo chip incluía más de 100.000 componentes y compuertas.

Tanto Texas Instruments como Intel se atribuyeron haber sido los primeros en haber desarrollado el primer microprocesador entre 1970 y 1971. A partir de la década de 1970, los fabricantes japoneses desarrollaron y produjeron microprocesadores a gran escala, lo que representó un reto importante para Intel y la mayoría de las empresas de los EE.UU. (véase sección 2.3.3).

Entretanto, la innovación en los procesos y el desarrollo de herramientas de diseño informático permitieron que la tarea de diseñar productos relacionados con los chips se separara de la fabricación. Estas importantes innovaciones permitieron a las empresas especializarse. También crearon oportunidades de mercado para nuevas empresas – especialmente en Asia –, ya que estas empresas podían producir chips baratos a gran escala para la producción de TIC en todo el mundo.

La contribución económica de los semiconductores

Los semiconductores han tenido un impacto económico significativo, que continua en el presente. Hasta la década de 1970, los dispositivos semiconductores se utilizaban para generar y controlar la corriente eléctrica, así como para detectar señales de radio. Diversas industrias, como las del transporte, la química y el aluminio, adoptaron los dispositivos semiconductores, obteniendo enormes aumentos en la productividad. Más adelante, los semiconductores desencadenaron el desarrollo de la industria de las TIC, posibilitando también, por lo tanto, el crecimiento de muchos otros sectores.

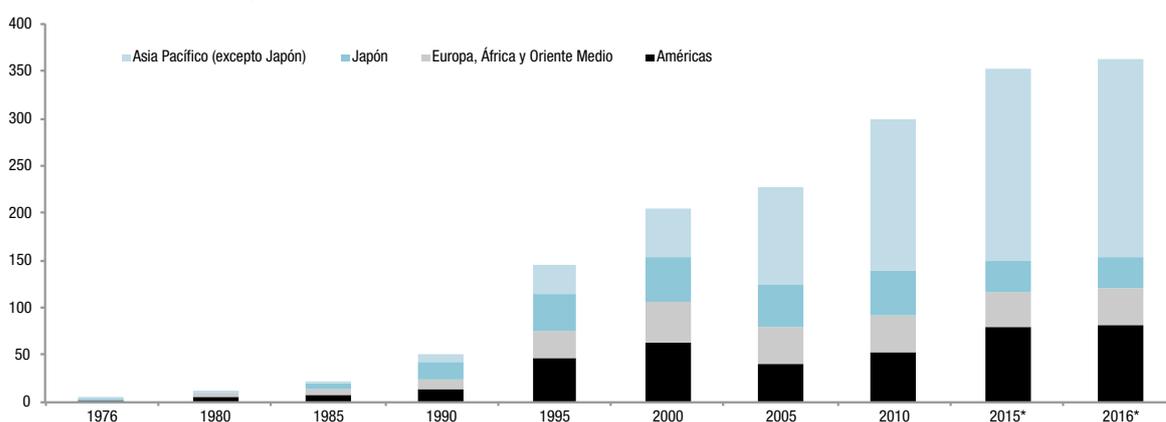
La propia industria de los semiconductores ha estado creciendo durante más de cuatro décadas. El valor estimado del mercado mundial de los semiconductores en 2015 es de 347 mil millones de USD, frente a los casi 3 mil millones de USD en 1976 (véase la figura 2.7). En un primer momento, el crecimiento de la demanda provino de las computadoras y de la electrónica de consumo. Actualmente, los productos de la industria automotor y los productos inalámbricos impulsan el crecimiento.¹¹⁵

En este periodo se ha producido un cambio geográfico importante en la producción de semiconductores. En 1976, casi el 70% de los envíos procedían de los EE.UU., el 20% de Europa y el 5% del Japón. En 1990, la cuota de los EE.UU. había caído hasta casi el 30%, mientras que el Japón había aumentado su cuota hasta el 40%. Desde entonces, los porcentajes de los EE.UU., Europa y el Japón han retrocedido, con la región de Asia Pacífico en su conjunto – esencialmente Taiwán (Provincia de China) y la República de Corea – contabilizando casi el 60% de las ventas en 2015.

115. WSTS (2015).

Figura 2.7: Las ventas mundiales de semiconductores han aumentado rápidamente, con fuertes variaciones regionales

Miles de millones de USD, a precios corrientes, 1976-2016



Notas: Las regiones siguen aquí la definición de WSTS. * estimaciones.
Fuente: OMPI, a partir del Historical Billings Report y WSTS (2015).

El uso de las TIC y de internet ha transformado las industrias existentes y ha creado otras nuevas por completo, lo que incluye los sectores minorista, de la distribución, la energía, las finanzas, el transporte y la salud; las TIC influyen en la manera que tiene la gente de aprender, viajar, trabajar e interactuar socialmente.

Los economistas han trabajado para cuantificar la contribución de las TIC, de una manera amplia, al crecimiento económico (véanse sección 1.2 y recuadro 1.2 en el capítulo anterior de este informe). Y han identificado tres cauces de crecimiento que han surgido con el paso del tiempo.¹¹⁶

En primer lugar, la inversión en TIC contribuye al aumento global del capital con respecto al trabajo.¹¹⁷ En segundo lugar, el progreso tecnológico en la industria de las TIC estimula el crecimiento de la productividad total de los factores (PTF) en las industrias productoras de TIC. La calidad y la velocidad de los chips aumentan de manera sostenida mientras que su coste baja, lo que incrementa de manera significativa su difusión.¹¹⁸ En tercer lugar, de manera similar a las GPTs y dedicando un tiempo importante, la adopción generalizada de las computadoras en todos los sectores incrementa la productividad total de los factores en el conjunto de la economía. Las empresas y las transacciones pasan a ser más eficaces gracias también a los efectos de la red, siempre que las inversiones en TIC se combinen con innovaciones en materia de organización y procesos.

116. OCDE (2004), y Van Ark e Inklaar (2005).

117. Stiroh (2002).

118. Jorgenson (2001).

Los estudios empíricos confirman la existencia de estos tres cauces de crecimiento, pero con algunas salvedades, particularmente en lo que concierne al tercer cauce. Existe el consenso de que, desde mediados de la década de 1990, el sector productor de las TIC ha contribuido de manera considerable al crecimiento de la productividad en numerosos países de altos ingresos.¹¹⁹ En los EE.UU., la contribución de las TIC al crecimiento de la productividad laboral ya era evidente desde mediados de la década de 1970 (véase recuadro 1.2). De hecho, la inversión en las TIC siguió influyendo positivamente en el crecimiento del valor añadido hasta la última crisis económica y con posterioridad.¹²⁰

Asimismo, la mayoría de los estudios realizados a principios de la década de 2000 en los EE.UU., y en otros países de altos ingresos, demuestran el fuerte impacto de la mejora de la eficiencia en el uso de las TIC, en comparación con los sectores productores de las TIC, especialmente el sector servicios.¹²¹

119. Jorgenson y Stiroh (2000), y Colecchia y Schreyer (2002).

120. Van Ark (2014).

121. Jorgenson y Stiroh (2000), Pilat y Wölfel (2004), Bosworth y Triplett (2007), y OCDE (2015).

Estos frutos derivados de la inversión en las TIC no han sido recogidos todavía por todos los países. Existe la preocupación de que el impulso de la productividad generado por las TIC no esté siendo compartido de manera amplia, ni siquiera en Europa o el Japón, como lo es en los EE.UU.¹²² Algunos estudios también destacan que el impacto de la productividad en el aumento del capital con respecto al trabajo de las TIC, en los países de altos ingresos, puede haber alcanzado ahora su punto culminante (véase sección 1.5).¹²³

Los semiconductores han comenzado a ser difundidos en las economías emergentes, a veces rápidamente. En 2015, China es el mayor mercado para los semiconductores, seguido de la India, la Federación de Rusia y Brasil.¹²⁴ Asimismo, en algunas economías de ingresos bajos y medianos, las TIC ya han tenido un efecto importante, haciendo que los mercados sean más eficientes, por ejemplo mediante la creación de nuevos servicios de pago o mediante el estímulo de nuevas vías de innovación. No hay duda de que el potencial en las economías en desarrollo dista mucho de haberse agotado. En términos de producción de semiconductores, economías como las de China, Malasia, Taiwán (Provincia de China), así como algunas otras economías asiáticas, albergan algunas de las mayores operaciones de montaje y fabricación. En términos de innovación de los semiconductores – con algunas excepciones, como en China y algunos otros países asiáticos, y en América Latina, principalmente en Argentina, Brasil y Costa Rica – la mayoría de actividades de mayor valor añadido, como el diseño de chips, todavía tienen lugar en países de altos ingresos.

2.3.2 – El ecosistema de innovación de los semiconductores

El ecosistema de innovación de los semiconductores evolucionó considerablemente con el paso de los años, reflejando de manera especial la transición desde los inventos en su fase inicial, y su primera comercialización, hasta su producción a gran escala y difusión. El sistema de innovación en cada una de las tres regiones principales, concretamente los EE.UU., Europa y el Japón, tenía una estructura muy diferenciada, incorporando su contribución particular a la innovación y la difusión.

En los EE.UU., el área de Silicon Valley creó las condiciones para que las empresas especializadas surgieran y coexistieran con las grandes empresas ya asentadas. En el Japón, las grandes empresas – que aprovecharon inicialmente las licencias para la utilización de tecnología concedidas por los EE.UU. – lograron una producción a gran escala y más barata, e incorporaron la innovación tanto a nivel tecnológico como organizativo. En Europa, un sistema sólido de investigación de base, la posición dominante de las grandes empresas – y los esfuerzos de política industrial para crearlas y mantenerlas – y un enfoque centrado en los mercados de consumo, permitieron a las empresas obtener una posición competitiva sólida en el campo de los semiconductores para las industrias de consumo.

Todas las fases de la innovación de los semiconductores, pero especialmente la fase inicial en la década de 1960, se basaron en gran medida en las contribuciones de la ciencia básica y en los vínculos con la investigación pública y universitaria. Asimismo, la rápida difusión del conocimiento estimuló la innovación global.

La innovación de los semiconductores se benefició en gran medida del apoyo y las políticas estatales, en forma de demanda y de compra de dispositivos semiconductores, así como de las políticas industriales y comerciales.

Concentración temprana en los EE.UU. y Europa, y difusión a Asia

La mayoría de la innovación en semiconductores se ha producido en unas pocas áreas. En los EE.UU., Silicon Valley, en el área de la Bahía de San Francisco, se ha convertido en sinónimo de espíritu empresarial, dinamismo e innovación en materia de TIC. En el Japón, Tokio y la región de Osaka-Kobe emergieron como centros importantes de los semiconductores.¹²⁵

122. Colecchia y Schreyer (2002), Jorgenson y Motohashi (2005), y van Ark (2014).

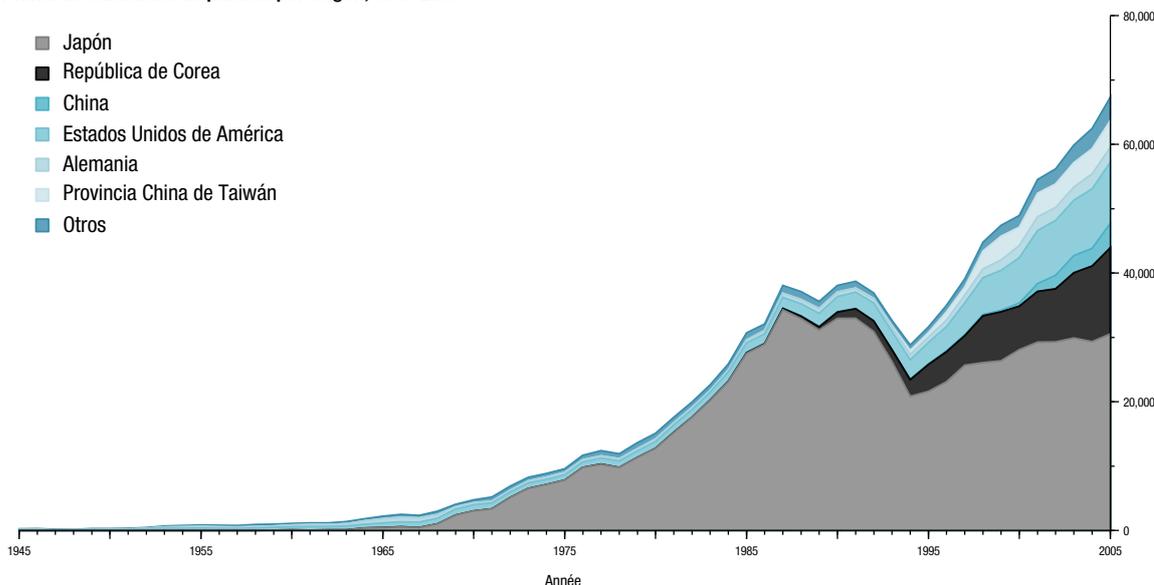
123. Gordon (2012) y van Ark (2014).

124. PwC (2014).

125. Morris (1990).

Figura 2.8: Rápido crecimiento de las patentes de semiconductores, especialmente en los EE.UU. y el Japón

Primeras solicitudes de patente por origen, 1945-2005



Fuente: OMPI, a partir de la base de datos PATSTAT (véanse las notas técnicas).

La figura 2.8 muestra el número de primeras solicitudes de patente presentadas en todo el mundo en el sector de los semiconductores de 1945 a 2005. El periodo recoge el momento de la invención – desde el transistor en 1947 al microprocesador en 1971 – y el posterior periodo de difusión. En el primer periodo, los EE.UU. y el Japón fueron líderes en las patentes de semiconductores, seguidos de Alemania, el Reino Unido, Francia y los Países Bajos. Hasta 1971, los inventores de los EE.UU. presentaron, en promedio, el 40% de todas las solicitudes anuales de patente. Hasta la década de 1960, los inventores de origen japonés presentaron, en promedio, el 1% de las solicitudes de todas las patentes; pero en 1980 presentaron el 85%, alcanzando un máximo del 90% en 1986. De igual modo, el porcentaje de solicitudes de patentes presentadas por inventores de la República de Corea fue casi cero hasta finales de la década de 1980, pero se situó en el 20% en 2005. El alto porcentaje de patentes de origen japonés guarda relación, al menos en cierta medida, con la práctica de la *inundación de patentes*, mediante la cual las empresas japonesas presentaban numerosas solicitudes de patente por cambios menores en tecnologías básicas que ya habían sido patentadas por firmas de los EE.UU. Las características del sistema de patentes japonés permitían esta práctica.¹²⁶

126. Véase, por ejemplo, Wolfson (1993).

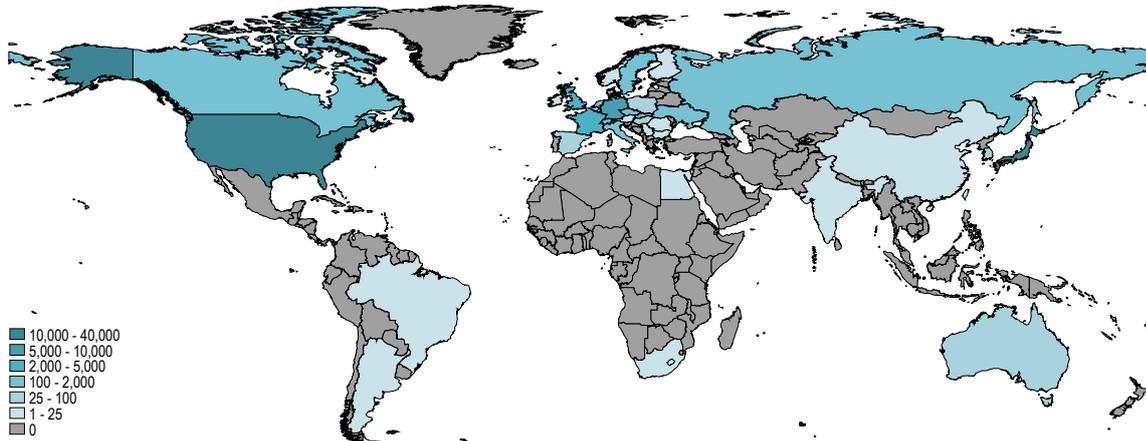
La figura 2.9 muestra el origen de las primeras solicitudes de patente en el periodo de la invención entre 1945 y 1975 (parte superior) y lo contrasta con el periodo que va de 1976 a 2005 (parte inferior). Tres países contabilizaron el 89% de las patentes de semiconductores en todo el mundo en cada uno de los periodos: entre 1945 y 1975, estos países fueron el Japón, los EE.UU. y Alemania, mientras que en el segundo periodo fueron el Japón, los EE.UU. y la República de Corea. En el segundo periodo, Taiwán (Provincia de China) y China se unieron al grupo de los seis mayores solicitantes de patentes. Otras economías, como Singapur, Israel, la Federación de Rusia, y países de ingresos medianos, como Malasia, la India y Sudáfrica, también han experimentado un crecimiento en la presentación de patentes, si bien el número de patentes es considerablemente menor.

La evolución del ecosistema de innovación de los semiconductores

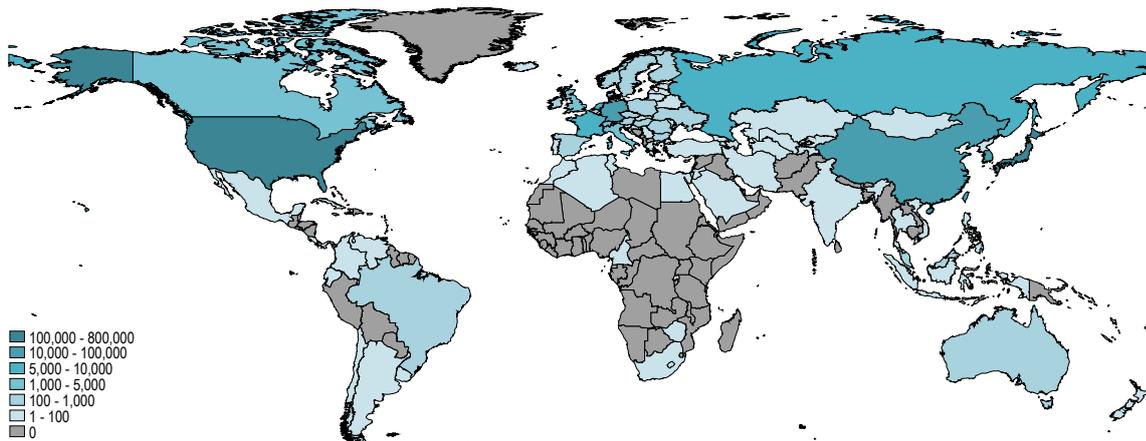
El ecosistema de innovación de los semiconductores evolucionó a lo largo de las diferentes fases tecnológicas descritas en la sección 2.3.1.

Figura 2.9: Difusión desde los EE.UU., Alemania y el Japón, y otros países asiáticos

Primeras solicitudes de patente por origen, 1945-1975



Primeras solicitudes de patente por origen, 1976-2005



Fuente: OMPI, a partir de la base de datos PATSTAT (véanse las notas técnicas).

Las válvulas de vacío: grandes empresas integradas y una gran necesidad de investigación de base

Las grandes empresas integradas – en su mayoría empresas eléctricas y de sistemas electrónicos como Western Electric en los EE.UU., Philips en los Países Bajos, Siemens en Alemania y Nippon Electric Company (NEC) en el Japón – eran los mayores productores de semiconductores y constituyeron un oligopolio estable. Las empresas de los EE.UU. y Europa dependían de sus grandes equipos de investigación y de la investigación en las universidades. En ese momento, los esfuerzos innovadores de las firmas japonesas fueron impulsados por la asimilación de tecnologías extranjeras.

Los transistores: creación de zonas de interacción y nuevos operadores en los EE.UU.

En esta época, la interacción entre el conocimiento científico y el conocimiento tecnológico fue fundamental para el desarrollo de los dispositivos semiconductores.¹²⁷ En los EE.UU., instituciones como la Universidad de Stanford, el MIT y la Universidad de California, Berkeley conformaron un grupo de científicos e ingenieros expertos en la materia, que ejercieron de polo de atracción para que las empresas se radicaran en la misma zona (*clúster*). La interacción entre la investigación de base y la investigación aplicada fue tan importante que las grandes corporaciones tenían

127. Por ejemplo, a finales de la década de 1940, investigadores de la Universidad de Purdue estuvieron muy cerca de inventar el transistor.

su propio laboratorio de investigación, como en el caso de AT&T, que disponía de Bell Labs.

En Europa y el Japón, los principales productores eran todavía grandes empresas integradas en el negocio de los equipos eléctricos, incluso en el caso del Japón, donde los nuevos operadores, tanto los actuales como los potenciales, como Sony, entablaron cierta rivalidad. En los EE.UU., las grandes empresas coexistían con los nuevos operadores. Estos operadores eran de dos tipos: empresas que operaban anteriormente en otras industrias, como por ejemplo Hughes y Texas Instruments, y empresas creadas para fabricar semiconductores, como por ejemplo Transistron.

Las empresas de los EE.UU. prestaron servicio principalmente a las agencias militares; las empresas europeas y japonesas prestaron servicio al mercado civil, en especial a las radios y las televisiones. Las necesidades de estos dos mercados diferían considerablemente. En Europa y el Japón, los costes, la fiabilidad y la capacidad creciente de detectar señales se convirtieron en el foco principal de la investigación, e hicieron del germanio el material elegido para los transistores. En los EE.UU., el tamaño y el consumo energético fijaron objetivos claros para los dispositivos nuevos e hicieron que los fabricantes prefirieran el silicio antes que el germanio.¹²⁸ Más adelante, el silicio se convirtió en el material semiconductor dominante en el mayor caso de las aplicaciones.

Circuitos integrados: el boom de las empresas emergentes en los EE.UU. frente al dinamismo todavía escaso en Europa y el Japón

La divergencia entre el entorno de los EE.UU. y aquellos de Europa y el Japón aumentó.

En los EE.UU., el segmento de mercado de los circuitos integrados atrajo la atención de muchos científicos de espíritu emprendedor, que dejaron las grandes corporaciones para crear sus propias empresas de circuitos integrados. La movilidad personal, favorecida por el agrupamiento y la disponibilidad de capital riesgo, alentaron esta tendencia.¹²⁹ En 1966, los mayores productores de semiconductores en los

EE.UU. eran principalmente firmas especializadas en los semiconductores – Texas Instruments, Fairchild, Motorola – seguidas de grandes empresas eléctricas como Western Electric y General Electric.

En Europa, los mercados de consumo siguieron siendo los mayores usuarios de semiconductores. En consecuencia, los principales productores – Philips y Siemens –, que habían acumulado un conocimiento considerable en el uso del germanio, continuaron produciendo transistores a gran escala y se resistieron a pasarse al silicio y a los circuitos integrados. En Europa, empresas más pequeñas como Plessey y Ferranti en el Reino Unido, COSEM en Francia y Allgemeine Elektrizitäts-Gesellschaft AEG -Telefunken en Alemania, se pasaron a los circuitos integrados. Sin embargo, retrasaron su incorporación y los recursos financieros limitados no les permitieron crecer lo suficiente. Por otra parte, los mercados de consumo llevaron a las empresas europeas a optar por los circuitos integrados analógicos en lugar de los digitales. Estas decisiones tecnológicas dejaron en una situación de desventaja a los productores europeos a medida que el silicio y los circuitos integrados digitales se hicieron con el dominio de la industria. Por consiguiente, los mercados europeos para las computadoras y los dispositivos digitales estaban en gran medida satisfechos con las importaciones procedentes de los EE.UU. o de subsidiarias estadounidenses con sede en Europa, mientras que las firmas europeas mantuvieron una sólida posición comercial en la electrónica de consumo.¹³⁰ Hablando en términos generales, en los EE.UU. las empresas emergentes garantizaron un mayor dinamismo y un cambio más rápido de los circuitos integrados modernos.

La industria japonesa de los semiconductores presentaba algunos elementos comunes con la industria europea, pese a estar menos avanzada desde el punto de vista tecnológico. A modo de continuación de los periodos anteriores, las grandes empresas integradas dominaron la industria. Por otra parte, las empresas se centraron en el mercado de consumo, especialmente en las calculadoras, y fueron reacias a pasarse a los dispositivos de silicio.

128. Malerba (1985), y Langlois y Steinmueller (1999).

129. El acuerdo al que llegaron los ingenieros que abandonaron Shockley Semiconductor con Fairchild Camera and Instrument – la empresa que financiaba la formación del semiconductor Fairchild – fue el primero de estas características y contribuyó al surgimiento de los negocios de capital riesgo (Lécuyer y Brock, 2010).

130. Malerba (1985).

Cuadro 2.4: La evolución del ecosistema de los semiconductores (1900-década de 1990)

Actores principales	Tipos de esfuerzos en materia de innovación	Usuarios principales
Válvulas de vacío Empresas eléctricas integradas (EU/US/JP)	Innovación de productos a través de los descubrimientos científicos	Radares militares (US) Mercados de consumo – televisión y radio (EU/JP) Suministro eléctrico, transporte e industrias metalúrgicas (EU)
Transistores 1. Empresas eléctricas integradas (EU/US/JP) 2. Empresas especializadas (US)	Innovación de productos a través de la investigación y la ingeniería aplicadas	Usos militares y computadoras (US) Mercados de consumo – televisión y radio (EU/JP)
Circuitos integrados 1. Empresas eléctricas integradas (EU/JP) 2. Empresas emergentes (US)	Innovación de productos y procesos, e innovaciones organizativas y financieras	Ordenadores centrales y minicomputadoras (US) Mercados de consumo (EU/JP)
Microprocesadores 1. IDMs (US/ EU/JP/ KR) 2. Empresas <i>fabless</i> (US) 3. Foundries (TW/SG/MY/TH/CN)	Innovación de productos y procesos, e innovaciones organizativas	Computadoras personales (US) Electrónica de consumo, telecomunicaciones y automoción (EU) Electrónica de consumo (JP)

Notas: US Estados Unidos, EU Europa, JP Japón, KR República de Corea, TW Taiwán (Provincia de China), SG Singapur, MY Malasia, TH Tailandia y CN China.

Durante esta época, la interacción entre la investigación y el desarrollo, por un lado, y la producción, por otro, fueron importantes para la innovación. Por ejemplo, Texas Instruments adoptó una estructura organizativa que fomentó las relaciones entre las distintas divisiones. Este fue uno de los factores de éxito de la compañía.¹³¹ Del mismo modo, en Fairchild Semiconductor el invento del transistor planar fue el resultado de los esfuerzos investigadores que se basaron en la intuición de un capataz en la división de producción.¹³²

Los microprocesadores: hacia una creciente división del trabajo entre el diseño y la producción

Las innovaciones en materia de procesos debilitaron las interdependencias entre la investigación y el desarrollo, por lado, y la producción, por otro. Asimismo, la complejidad de los microprocesadores implicó la necesidad de una mayor inversión de capital para su fabricación. En consecuencia, surgieron tres tipos de empresas: las empresas que mantuvieron internamente tanto la producción como el diseño, conocidas como *fabricantes de dispositivos integrados* (IDMs, por sus siglas en inglés), las empresas especializadas en diseño, denominadas “sin fábrica” o *fabless* (término inglés para referirse a las empresas que carecen de una planta de fabricación propia), y las empresas especializadas en la fabricación, denominadas *foundries*. La aplicación de los semiconductores a las comunicaciones inalámbricas y a los productos de consumo, como los videojuegos, también contribuyó a la especialización. Estos mercados estaban mucho más fragmentados y el ciclo de vida del producto era mucho más corto que en los mercados de las computadoras.

En los EE.UU., Intel, líder en el mercado de los microprocesadores, y la mayoría de empresas de semiconductores se centraron en los *chips* que hacen un uso intensivo de los diseños, que arrojaban mayores rendimientos. Algunas de estas firmas, como Intel y Texas Instruments, mantuvieron sus plantas de producción, convirtiéndose en IDMs. Otras, como Qualcomm, optaron por el modelo de negocio sin fábrica y subcontrataron la fabricación a las empresas especializadas. La mayoría de las firmas japonesas, como NEC, Toshiba e Hitachi, también se convirtieron en IDMs, pero se centraron en dispositivos semiconductores estandarizados. De igual modo, en la República de Corea, Samsung, Hyundai y LG Electronics se situaron entre los líderes mundiales de la venta de *chips* de memoria. Las empresas especializadas en la fabricación se concentraron especialmente en Taiwán (Provincia de China). En 1996, las principales empresas de ese tipo en Taiwán (Provincia de China) – Taiwan Semiconductor Manufacturing, United Microelectronics y Winbond Technology – producían el 40% de la producción que necesitaban las compañías sin fábrica de los EE.UU.¹³³ A finales de la década de 1990, firmas de otras economías asiáticas, como Singapur, Malasia, Tailandia y China, se incorporaron al negocio de las empresas especializadas en la fabricación.

131. Morris (1990).

132. Lécuyer y Brock (2010).

133. Langlois y Steinmueller (1999).

Las empresas de los EE.UU. se centraron en las aplicaciones de las computadoras, mientras que las compañías japonesas se centraron en la electrónica de consumo. El tamaño y la naturaleza diversificadas de las firmas japonesas les permitieron recurrir a las transferencias internas de capital en periodos de descenso de las ventas, garantizando tasas de inversión estables y elevadas. Otra característica de las empresas japonesas era su interés en el control de calidad: la práctica de la gestión de calidad total fomentó el control y el seguimiento automático de los procesos. Esto tuvo un impacto notable en la mejora de la calidad y la productividad. Por último, el empleo de por vida, prevalente en el Japón, limitó la difusión de conocimiento y la pérdida de los competencias adquiridas.

Las empresas europeas adoptaron una estrategia de compra de empresas de los EE.UU. y de colaboración en materia de investigación y desarrollo con los productores de microprocesadores con más experiencia. Esto les permitió utilizar la nueva tecnología en la electrónica de consumo, las telecomunicaciones y las aplicaciones automovilísticas. Philips, Siemens y SGS-Thomson mantuvieron su posición comercial en los mercados internacionales de la electrónica de consumo y crearon empresas derivadas especializadas en semiconductores, que acabaron siendo muy exitosas posteriormente.¹³⁴

El papel decisivo de los gobiernos en la financiación y el estímulo de la investigación y la innovación

Los gobiernos espolearon el desarrollo de los semiconductores mediante diversos mecanismos, con diferencias pronunciadas entre los distintos países.

En los EE.UU., la subvención que recibió Bell Labs en 1949 para investigar, las subvenciones para investigación y desarrollo, y los contratos pilotos de fabricación, así como cualquier otra forma directa e indirecta de apoyo financiero, representaron una cuarta parte del conjunto de toda la investigación y el desarrollo en la industria a finales de la década de 1950.¹³⁵ El apoyo financiero continuó hasta la puesta en marcha del proyecto SEMATECH en 1987, que también generó la cooperación entre firmas rivales en materia de investigación y desarrollo. El gobierno y sus agencias militares garantizaron una demanda sostenida de

los semiconductores en los EE.UU. La política de “comprar productos estadounidenses” hizo que las ofertas extranjeras fueran menos competitivas que las ofertas nacionales. El gobierno también influyó en la industria al especificar los requisitos técnicos. La propia lógica de la miniaturización fue un resultado de esto. Los programas del gobierno crearon laboratorios y redes de instituciones públicas de investigación. Los proyectos de investigación respaldados por el gobierno se centraron en la investigación aplicada e interdisciplinar, e implicaron una estrecha colaboración entre investigadores y fabricantes. En lo que se refiere al entorno regulador, una sentencia convenida antimonopolio de 1956, que forzó a AT&T a abstenerse de vender semiconductores con fines comerciales, creó una oportunidad de negocio tanto para las empresas grandes como para las empresas emergentes. El gobierno de los EE.UU. también impulsó el proceso de estandarización de los productos, permitiendo a las empresas disfrutar de un mercado más grande y, por lo tanto, sacar provecho de las economías de escala. La National Cooperative Research Act de 1984 facilitó la investigación conjunta.¹³⁶

En Europa, no había contratos militares, y cuando el apoyo estuvo disponible se materializó en un trasvase importante de aplicaciones comerciales.¹³⁷ Los gobiernos no dedicaron los mismos recursos financieros a apoyar el desarrollo de la industria. Pasó mucho tiempo hasta que se ofreció un mayor apoyo financiero, cuando las empresas europeas intentaron ponerse al día con respecto a las empresas de los EE.UU. en materia de microprocesadores. Los laboratorios de investigación creados por los gobiernos se inclinaban más por la investigación de base que por la investigación aplicada.¹³⁸ Los subsidios, los aranceles, las barreras no arancelarias y las políticas en materia de competencia respaldaron las iniciativas destacadas a nivel nacional. Su limitado volumen de operaciones, debido a la fragmentación del mercado europeo, influyó en los resultados de estas políticas.¹³⁹ Asimismo, la contratación pública, por ejemplo en telecomunicaciones, acentuó un poco más la fragmentación del mercado.

136. Langlois y Steinmueller (1999).

137. Véase, por ejemplo, el caso de la computadora Colossus desarrollada durante la II Guerra Mundial en el Reino Unido para descifrar códigos

138. Malerba (1985).

139. Morris (1990).

134. Malerba (1985), y Langlois y Steinmueller (1999).

135. Tilton (1971).

Las compras de material militar tampoco jugaron un papel en el desarrollo de la industria japonesa de los semiconductores. Sin embargo, el gobierno ejerció una fuerte influencia en la industria a través de su Ministerio de Industria y Comercio Internacional (MITI). Entre sus acciones de mayor calado figuró el proyecto VLSI (siglas en inglés de integración a muy gran escala) en el periodo 1976-1980, un consorcio integrado por Fujitsu, NEC, Hitachi, Mitsubishi y Toshiba. Como en Europa, el MITI del Japón favoreció el desarrollo de una industria nacional mediante aranceles altos y barreras no arancelarias, así como mediante el trato preferencial a las empresas nacionales en la contratación pública. El gobierno también obstaculizó la formación de subsidiarias propiedad exclusiva de empresas extranjeras, a través de controles de capital y acuerdos de licencia controlados entre empresas japonesas y de los EE.UU.¹⁴⁰ Los bancos nacionales, cuyos fondos eran controlados por el Banco del Japón, podían tener una participación accionarial en compañías a las que habían concedido préstamos. Por lo tanto, los bancos respaldaron a las empresas nacionales incluso cuando no había un rendimiento de la inversión, autorizando a las empresas mantener altas tasas de inversión.

2.3.3 – Los semiconductores y el sistema de P.I.

A través de las diversas etapas de la innovación y la comercialización, la apropiación y las estrategias en materia de P.I. evolucionaron de manera natural. A menudo eran específicas para actores concretos y también variaron significativamente entre países. Sin embargo, son posibles algunas caracterizaciones generales.

Las patentes: ¿De estrategias abiertas a estrategias más defensivas?

Debido a la gran movilidad de científicos en Silicon Valley y a la voluntad de los investigadores de divulgar sus inventos, la confidencialidad no fue considerada una estrategia viable en los EE.UU. En cambio, en el caso del Japón los trabajadores se beneficiaron del empleo de por vida y en contadas ocasiones abandonaron sus empresas, guardando la información puertas adentro. Raramente se invocaron las leyes de confidencialidad comercial.

La innovación en los semiconductores coincidió con el uso intenso de las patentes. En todas las fases examinadas anteriormente se presentaron numerosas solicitudes de patentes, la mayoría de ellas para inventos que eran esenciales para que la industria siguiera desarrollándose. La presentación de solicitudes de patentes aumentó de manera notable desde los primeros momentos (véase la figura 2.8). Este intenso uso de las patentes es sorprendente, ya que, desde el punto de vista legal, el diseño de los semiconductores no es susceptible, en principio, de ser protegido por la vía de los derechos tradicionales de patente. De hecho, se consideró que los diseños de los circuitos integrados eran variaciones obvias de diseños anteriores y no ameritaban la protección que confieren las patentes.¹⁴¹ También desde un punto de vista empresarial, la corta vida comercial de los circuitos integrados hizo que otras formas de apropiación fueran más atractivas. En realidad, la anticipación, la ventaja de ser el primero, la capacidad de diseño y una buena reputación eran más importantes a este respecto.¹⁴² A pesar de ello, otros elementos de la tecnología de los semiconductores eran patentables. Sobre todo, las patentes se utilizaron para obtener la exclusividad de los beneficios derivados de las funcionalidades estructurales técnicamente

140. Nakagawa (1985), Flamm (1996), Langlois y Steinmueller (1999) y Hoeren (2015a).

141. Hoeren (2015a).

142. Levin *et al* (1987) y Cohen *et al* (2000).

complejas de los dispositivos y de las innovaciones de los semiconductores en su procesamiento.

Y lo que es más importante, las patentes se utilizaron sobre todo como un medio eficaz de compartir la tecnología entre los actores clave. A causa, en parte, de la estrategia empresarial y de la política gubernamental, rara vez tuvieron que hacerse valer los derechos de patente. Las empresas eran conscientes de que el desarrollo de los chips requiere de un acceso a una gran cantidad de inventos que se superponen y a los derechos de titularidad de diversas partes.¹⁴³ Directa o indirectamente, las empresas usaron las invenciones de otros, ya fuera de manera explícita, a través de prácticas de concesión recíproca de licencias flexibles y a gran escala, o de manera implícita, ignorando los derechos de patente de otros.¹⁴⁴

La divulgación, el intercambio de tecnología y la ausencia de litigios favorecieron la innovación acumulativa y la difusión. Las patentes también favorecieron la especialización y contribuyeron a movilizar recursos para cubrir los altos costes en investigación y desarrollo, así como para financiar las empresas emergentes.¹⁴⁵ De hecho, la creación en la actualidad de grandes carteras de patentes para obstaculizar a los competidores, o para conjurar la amenaza de litigios, es – desde una perspectiva histórica – un fenómeno reciente en el sector. El temido efecto negativo sobre la verdadera innovación también puede resultar más moderado de lo que algunos pensaron en un primer momento.¹⁴⁶

Resulta útil distinguir cuidadosamente las diversas fases de la estrategia en materia de P.I.

Fase 1 (1900-1940): actividad individual con las patentes en el ámbito universitario

A principios del siglo XX, diversos inventores procedentes del mundo universitario sentaron las bases de la industria. Incluso en esta etapa inicial, los inventos se presentaban a menudo como patentes al tiempo que se publicaban en artículos científicos. Aun así, estas patentes no fueron utilizadas únicamente por el inventor. De hecho, la mayoría de ellas no fueron

explotadas comercialmente en absoluto; más bien, contribuyeron al acervo de conocimientos.

Fase 2 (1940-1980): equilibrio en las patentes y abundancia de la concesión recíproca de licencias

Desde la década de 1940 hasta la de 1970, el rápido aumento de la P.I. coincidió con la innovación, no sólo en los EE.UU., sino también en Europa y el Japón.¹⁴⁷ Los propietarios de patentes no las utilizaron para quedarse con las tecnologías o para eludir a la competencia. Las patentes eran licencias cruzadas o, de manera deliberada, no se ejecutaban.¹⁴⁸ Las empresas emergentes utilizaban las técnicas de semiconductores existentes para seguir innovando.

Los titulares de derechos tenían dos razones para abstenerse de ejecutar los derechos conferidos por las patentes.

En primer lugar, los distintos actores de la industria comprendieron que ejecutar derechos de patente individuales en un escenario tan complejo, con tecnologías superpuestas, sería imposible y contraproducente. Incluso las patentes decisivas se basaron en la divulgación de información técnica de las patentes existentes, y terminaron por infringirlas.¹⁴⁹

La presentación de un número importantes de solicitudes de patentes no ejecutadas propició un equilibrio de poderes; diversos inventos fueron titularidad de partes concurrentes. Los litigios se limitaron a unos pocos casos clave en los momentos iniciales. Por ejemplo, los inventos clave de Noyce y Kilby se concibieron de manera independiente, lo que hizo que Fairchild y Texas Instruments tuvieran reivindicaciones de patentes coincidentes por inventos prácticamente idénticos. Al principio, estas dos empresas se demandaron la una a la otra por infracción de la patente, pero llegaron a un acuerdo en 1966 por el cual cada parte aceptó no impugnar las patentes de su rival; se cerró un acuerdo de concesión recíproca de licencias de gran alcance.¹⁵⁰

147. Levin (1982)

148. Shapiro (2000).

149. El nombre de Shockley quedó como el punto de contacto de la solicitud de patente del transistor en 1948 después de que los abogados de Bell descubrieran que sus escritos sobre los transistores estaban "muy influidos" por una patente anterior, concedida en 1925 al ingeniero electrónico Julius Edgar Lilienfeld (Shurkin, 2006).

150. Langlois y Steinmueller (1999).

143. Grindley y Teece (1997), y Hall y Ziedonis (2007).

144. Von Hippel (1982), Appleyard (1996), Motohashi (2008) y Hoeren (2015a).

145. Hall (2005).

146. Véase, por ejemplo, Shapiro (2000), Hall y Ziedonis (2001), y Jaffe y Lerner (2004) para inquietudes conexas.

Este tipo de acuerdo se convirtió en algo habitual en la industria y las empresas optaron de manera creciente por acuerdos de concesión recíproca de licencias, en lugar de por los litigios.

Asimismo, la movilidad de los inventores y la creación de empresas emergentes fueron fenómenos generalizados, lo que derivó en una mayor difusión de las tecnologías. De hecho, en 1977 la Comisión Federal de Comercio de los EE.UU. afirmó: “El hecho de que las compañías puedan copiarse con rapidez es muy importante. Este rápido proceso de copia es el resultado de la movilidad de personal entre empresas y de la falta de voluntad de la mayoría de las empresas de producir secretos comerciales o demandas por infracción de patentes”.¹⁵¹

A nivel internacional, las patentes tampoco se utilizaron para defenderse de la competencia. De hecho, aunque el Japón se estaba convirtiendo rápidamente en el lugar principal de producción de semiconductores, antes de 1962 en el Japón se concedió un escaso número de patentes a residentes y no residentes.¹⁵² El resultado fue que los litigios de patentes fueron escasos a nivel internacional.

En segundo lugar, en un paralelismo interesante con los aviones (sección 2.1), la política en materia de competencia en los EE.UU. jugó también su papel. Tras la sentencia convenida sobre antimonopolio de 1956 (véase la sección 2.3.2), AT&T acordó conceder licencias exentas de regalías para las patentes existentes y dejar de operar como un productor de semiconductores. Asimismo, todas las patentes futuras de Bell debían estar disponibles con unas tarifas razonables. Posteriormente, la política antimonopolio previno que los grandes titulares de patentes, como AT&T e International Business Machines, hicieran valer sus derechos de patente en las décadas de 1960 y 1970. Los líderes tecnológicos establecieron a continuación políticas liberales de concesión de licencias, que han sido ampliamente reconocidas como promotoras del ritmo acelerado de la innovación.¹⁵³ Como afirma

Hoeren (2015a): “Bell tuvo el concepto interesante de compartir la nueva tecnología de los transistores con expertos de todo el mundo [...] Bell organizó tres conferencias para que otros científicos se familiarizaran de primera mano con la nueva [...] tecnología [...] Las personas interesadas en esa conferencia tenían que pagar por adelantado una tasa de concesión de patentes de 25 mil USD, deducibles de las regalías futuras [...]”.

A partir de ese momento, fueron muchas las compañías de los EE.UU. e internacionales – en su mayoría japonesas y europeas – que concedieron licencias de tecnología de Bell. A su vez, a los licenciarios se les exigía que pusieran a disposición sus patentes a un precio justo.¹⁵⁴ La ingeniería inversa permitió a todas las empresas de semiconductores verificar el interior de los circuitos producidos por sus competidores. La publicación de las solicitudes de patentes puso a los investigadores sobre la pista del trabajo que ya habían hecho otros e incrementó también el respeto que los inventores tenían por el trabajo de otros inventores.

Este enfoque abierto sobre las tecnologías patentadas no se detuvo en las fronteras nacionales. Las primeras empresas japonesas de chips prosperaron gracias a la concesión de licencias de tecnología por parte de compañías de los EE.UU. Cuando el coste de elaborar chips aumentó, las empresas japonesas y estadounidenses cooperaron y practicaron la concesión recíproca de licencias en materia de tecnología.¹⁵⁵

Fase 3 (1980-1984): cierre inicial a consecuencia de la política industrial y las guerras comerciales, y la creación de los derechos *sui generis*

La innovación y el modelo de P.I. descritos anteriormente comenzaron a erosionarse, principalmente como consecuencia de la política industrial y de la naturaleza cambiante del liderazgo tecnológico. En la década de 1980, las empresas japonesas comenzaron a superar a las empresas estadounidenses en la calidad de los chips semiconductores. Esto generó inquietud en los EE.UU.; se acusó a las empresas japonesas de infracciones en materia de P.I. Asimismo, en el Japón se restringieron las inversiones de Fairchild y Texas Instruments. Además, en el Japón no se otorgaron todos los derechos a Texas Instruments hasta 1989

151. FTC (1977).

152. Un caso interesante muestra las repercusiones. En Sony, Leo Esaki descubrió (y ganó el Premio Nobel por ello) el efecto Esaki, que aumentó considerablemente la velocidad a la que funcionaban los semiconductores. Sin embargo, Esaki nunca solicitó una patente para su invento y compartió sus ideas con otros investigadores. En 1960, un empleado de Bell presentó una solicitud de patente para un dispositivo que utilizaba el efecto Esaki.

153. Levin (1982).

154. Levin (1982).

155. Motohashi (2008).

respecto de su patente principal sobre un circuito integrado (aun cuando en 1977 se aprobaron derechos limitados de patente), más de 25 años después de que se presentara la primera solicitud de patente.¹⁵⁶

Los gobiernos de los EE.UU. y el Japón interfirieron cada vez más en la industria, instituyendo en ambos casos un trato preferencial para las empresas nacionales. Las acusaciones de falsificación de semiconductores aumentaron; las empresas estadounidenses y japonesas de chips iniciaron una guerra de patentes que duró una década. Las políticas liberales de concesión de licencias transfronterizas llegaron a su fin. Esto derivó en esfuerzos de los grupos de presión para producir un sistema sui generis que protegiera el diseño de las máscaras de los semiconductores. Se elaboraron las correspondientes leyes a nivel nacional e internacional, lo que creó un nuevo derecho en materia de P.I. Aun así, este enfoque *ad hoc*, centrado en la tecnología y sui generis, no logró un aprovechamiento o impacto notables.

Fase 4 (de 1984 en adelante): el surgimiento de las patentes de semiconductores, las patentes defensivas y los litigios

Desde principios de la década de 1980 en adelante, el patentamiento de semiconductores y la propensión a patentar se aceleraron hasta niveles imprevistos en los EE.UU. y en otros países.¹⁵⁷ Según la bibliografía existente, este incremento en el patentamiento y un cambio en la estrategia en materia de P.I. fueron espoleados por una legislación pro-patentes en los EE.UU., encarnada en la creación del Tribunal de Apelaciones del Circuito Federal de los Estados Unidos (CAFC, por sus siglas en inglés), en virtud de la Ley Federal de Mejora de los Tribunales Federales de 1982, por una mayor intensificación de la naturaleza competitiva de la industria de los semiconductores y por la tendencia creciente de buscar, de manera más activa, ingresos procedentes de las licencias.¹⁵⁸ En concreto, la maniobra de Texas Instruments para explotar en mayor medida su cartera de P.I. y empezar a obtener ingresos de sus competidores produjo una reacción en

cadena.¹⁵⁹ La irrupción de un nuevo modelo de negocio, en el que se separó el diseño y la producción de los chips, también desempeñó un papel en este cambio en las estrategias de patentamiento; los diseñadores de chips obtuvieron beneficios mediante la venta a los fabricantes de licencias de P.I.

Además, las patentes empezaron a emplearse cada vez más para poner barreras a operadores potenciales y a competidores, y para obstaculizar la continuación de la innovación. Surgió lo que se denominó una situación de secuestro de las patentes, lo que supuso el riesgo – según algunas opiniones – de una ralentización del progreso tecnológico.¹⁶⁰ Según la bibliografía existente y las fuentes del sector, las solicitudes de patentes se presentaban cada vez más con fines defensivos para evitar el riesgo de demandas por infracción de patente. Queda demostrado que la tasa de litigios a cargo de las empresas de semiconductores en los EE.UU., como ejecutoras de las patentes, ha permanecido relativamente estable durante las últimas dos décadas. Por el contrario, se documentó un aumento de la participación activa en litigios por parte de entidades inactivas.

La pregunta de si los hechos mencionados anteriormente han cambiado de manera fundamental la importancia de las patentes en la investigación y desarrollo de los semiconductores, y en la difusión de la tecnología, sigue sin tener respuesta. No existen pruebas creíbles para demostrar que la reciente inquietud sobre el secuestro de las patentes o sobre los litigios haya tenido un impacto tangible en la innovación de los semiconductores. De hecho, el aumento del patentamiento podría ser el resultado de una mayor eficiencia en la innovación entre las empresas de semiconductores, es decir, de la producción de más patentes por unidad de investigación y desarrollo. De hecho, la tasa de innovación, medida según la ley de Moore – aunque cuestionada por los límites de la física – se mantiene intacta.

Asimismo, se alega que bajo la superficie los extensos acuerdos, explícitos o implícitos, de concesión recíproca de licencias – pactos – para no demandar todavía están vigentes entre las principales empresas de diseño y producción de semiconductores.¹⁶¹ A eso hay que sumar que en la actualidad estos contratos contienen secretos comerciales y provisiones de confidencialidad.¹⁶²

156. Flamm (1996) y Hoeren (2015a).

157. Como se documenta en Fink *et al* (2015), el aumento más pronunciado en la ratio de primeras patentes de investigación y desarrollo a nivel mundial también ocurrió en la categoría de “máquinas y aparatos eléctricos, y tecnología informática y audiovisual”, en las que están incluidos los semiconductores.

158. Hall y Ziedonis (2001).

159. FTC (2002).

160. FTC (2003).

161. Véase Hoeren (2015a) para referencias adicionales.

162. Ludlow (2014).

Los intentos fracasados de crear una protección *sui géneris* para los semiconductores

Como se describió anteriormente, en la década de 1980 se estableció un sistema *sui géneris* para proteger los diseños de las máscaras de los semiconductores, pero sin que se lograra nunca un aprovechamiento notable por parte de los actores e inventores en el campo de la innovación.

Las asociaciones empresariales estadounidenses solicitaron un régimen de protección para contrarrestar lo que consideraron un incremento de la falsificación de semiconductores en otros países. Las asociaciones argumentaron que las leyes existentes en materia de patentes habían fracasado a la hora de dar una protección suficiente a su sector.¹⁶³ El Congreso de los EE.UU. favoreció finalmente la idea de una protección *sui géneris*. El objeto destinatario de la protección eran las “máscaras”, es decir, las pautas empleadas para instalar los circuitos en la lámina de silicio, con el objetivo de crear circuitos integrados. La Ley de Protección de Chips Semiconductores de 1984 (SCPA, por sus siglas en inglés) creó en los EE.UU. un nuevo tipo de legislación de propiedad industrial, que contiene elementos de la legislación sobre patentes, derechos de autor y competencia.¹⁶⁴ El Japón publicó una ley similar a la SCPA el 31 de mayo de 1985.¹⁶⁵ En Europa, el Consejo de la CE aprobó la Directiva sobre la protección jurídica de las topografías de los productos semiconductores en 1986.¹⁶⁶ La SCPA se basó en la noción de la reciprocidad. Las topografías y las máscaras de un productor extranjero de chips solo se protegerían en los EE.UU. si en ese territorio extranjero se respetaban estándares similares a los de la SCPA. Por último, la protección de la tecnología de los semiconductores se regulaba en los Artículos 35-38 del Acuerdo sobre los ADPIC en 1994.

Es interesante señalar, no obstante, que el sistema *sui géneris* no tuvo una aceptación significativa ni un impacto real en la práctica. En primer lugar, como se ha mencionado, el derecho *sui géneris* protegió la máscara del chip. Sin embargo, la función del circuito integrado es más valiosa que la de su máscara. En segundo lugar, aunque las máscaras son complejas y difíciles de copiar, pueden ser fácilmente modificadas sin dañar la funcionalidad de los chips. Por tanto, las máscaras no estarían protegidas frente a las máscaras alteradas que se hubieran obtenido, por ejemplo, mediante la ingeniería inversa. Estos aspectos técnicos de la protección *sui géneris* redujeron su atractivo. Asimismo, debido a la duración cada vez más corta de los chips, los altos costes de producción y los requisitos de personalización, piratear los chips se convirtió en una actividad prácticamente inasequible. En consecuencia, apenas hubo nunca litigios para ejecutar los diseños de máscaras y la industria siguió recurriendo a las patentes.

163. Levin (1982).

164. Título III de la Ley Pública 98-620 del 8 de noviembre de 1984, ahora 17 U.S.C. Sección 901 *et seq.*; Industrial Property Laws and Treaties, Estados Unidos de América – Text 1-001.

165. *Act Concerning the Circuit Layout of a Semiconductor Integrated Circuit (Ley Federal N.º. 43 del 31 de mayo de 1985).*

166. *OJ, L 24/36, 27 de enero de 1987. Directiva sobre la protección jurídica de las topografías de los productos semiconductores, 87/54/EEC.*

El derecho de autor para proteger el diseño de chips: ¿está cobrando importancia en los últimos tiempos?

Si bien al principio se consideró intrascendente, el uso del derecho de autor para proteger el diseño de chips ha cobrado importancia más recientemente. El derecho de autor siempre se había tenido en cuenta para la protección potencial de los diseños de chips, especialmente en los EE.UU. Estos intentos fracasaron en buena medida. Por ejemplo, la Oficina de Derecho de Autor de los EE.UU. rechazó registrar patentes de placas de circuitos impresos y de chips semiconductores porque no se había demostrado la existencia de aspectos artísticos distintos. Simplemente, se consideró que el modelo era inseparable de la función utilitaria del chip. En último término, se favoreció el enfoque sui generis descrito anteriormente; el derecho de autor fue descartado como un medio posible de apropiación.

Sin embargo, a medida que los nuevos modelos de negocio que separan el diseño y la fabricación de chips han cobrado aún más importancia, los expertos de la industria sugieren que el derecho de autor es ahora una herramienta importante para recuperar la inversión realizada en la innovación de los semiconductores. Concretamente, las listas de conexiones – las descripciones gráficas de todos los dispositivos y las conexiones entre cada dispositivo entregadas por las empresas sin fábrica a las empresas especializadas en la fabricación, lo que puede incluir texto, soporte lógico, colecciones y bases de datos – están sin duda protegidas por la legislación de derecho de autor en la medida en que incluyan representaciones de diseños de chips altamente valiosas y creativas, así como en formato de texto.¹⁶⁷

¹⁶⁷ Para un ejemplo, véase www.concept.de/img/Netlist_Debugger_Showing_Critical_Circuit_Fragment_L.gif; y véase también Hoeren (2015b).

2.4 – Experiencia adquirida

Los tres estudios de caso presentados en este capítulo ofrecen diversas reflexiones acerca de cómo las innovaciones revolucionarias han espoleado el crecimiento y qué rol ha desempeñado el sistema de P.I. en los correspondientes ecosistemas de innovación. Muchas de las reflexiones son específicas para las tecnologías y el contexto histórico en cuestión, y no se prestan con facilidad a la generalización. De hecho, la innovación en aviones, semiconductores y antibióticos sigue floreciendo hoy en día, y los ecosistemas subyacentes a la actividad innovadora en estos campos han evolucionado enormemente.

Hechas estas salvedades, merece la pena trazar algunas comparaciones entre estos tres casos históricos y preguntarse qué lecciones pueden extraerse. La sección final intenta hacerlo. Esta sección sigue la estructura de los estudios de caso, centrándose en primer lugar en la contribución al crecimiento de las innovaciones, posteriormente en sus ecosistemas y finalmente en el rol de la P.I.

Contribución al crecimiento económico

Echando un vistazo a cómo influyeron estas tres innovaciones al crecimiento económico, los antibióticos sobresalen, fundamentalmente por haberlo fomentado a través de una fuerza laboral con una vida más larga y más saludable. Su contribución probablemente va más allá del tratamiento de las infecciones bacterianas, ya que la comercialización de los antibióticos dio lugar a una industria farmacéutica basada en la investigación y a su consiguiente marco regulador, lo que generó otros adelantos farmacéuticos.

Los aviones y los semiconductores contribuyeron al crecimiento económico, principalmente estimulando la inversión, aumentando la productividad de las empresas y transformando las estructuras económicas. La transformación económica fue especialmente profunda. Ambas innovaciones provocaron cambios radicales en las cadenas de suministro, lo que afectó a un amplio espectro de sectores, y estuvieron en la raíz de unas industrias enteramente nuevas. Fue necesario cierto tiempo para que estos efectos se materializaran, pero sostuvieron el crecimiento económico durante décadas tras la primera comercialización. También dependieron de que hubiera una innovación continua, tanto de naturaleza tecnológica como organizativa.

¿Cómo propagaron y estimularon estas tres innovaciones el crecimiento económico en los países ingresos bajos y medios? Aunque los estudios de caso no arrojan ningún indicio cuantitativo, es interesante destacar que los productos fruto de las innovaciones – aviones, fármacos antibióticos y numerosos productos de tecnología de la información – fueron adoptados de manera relativamente extendida en los países en desarrollo. Esta adopción ha repercutido en una importante contribución al crecimiento económico. Por contra, el conocimiento en materia de fabricación asociado con estas innovaciones no se propagó de manera tan amplia. Si bien algunas economías en desarrollo tuvieron éxito a la hora de crear una capacidad de fabricación en estas industrias, el grueso de la producción permanece concentrada hasta la fecha en un número relativamente pequeño de países.

Ecosistemas de innovación

Las innovaciones descritas en los tres estudios de caso son el resultado de los esfuerzos de una variedad de actores en distintas etapas del proceso de innovación. Los gobiernos fueron la principal fuente de financiación de la investigación científica, que con frecuencia fue instrumental para convertir en realidad los adelantos productos de la invención. Asimismo, en los tres casos, los gobiernos desempeñaron un papel decisivo a la hora de llevar la innovación del laboratorio a la fase de producción, a menudo motivados por el deseo de fortalecer la defensa nacional. En la medida en que las empresas individuales y los mercados financieros no podían haber absorbido los altos costes y riesgos del desarrollo de productos, es posible especular que algunas de las innovaciones asociadas a los aviones, los antibióticos y los semiconductores nunca hubieran visto la luz sin la intervención de los gobiernos, o al menos no cuando lo hicieron. Paralelamente, los esfuerzos de las empresas fueron igualmente decisivos, especialmente a la hora de comercializar ideas prometedoras y de comprometerse con nuevas innovaciones que favorecieron un aumento de la producción, reducciones de costes y la adopción de las nuevas tecnologías a gran escala.

¿Hasta qué punto el ecosistema configuró la dirección en la que avanzó la innovación en estos tres casos históricos? Por un lado, la innovación fue el resultado de ideas individuales y de fuerzas fortuitas, como ilustran vívidamente los primeros vuelos de los pioneros de la aviación y el descubrimiento de la penicilina. Por otro lado, está claro que el ecosistema de innovación importaba. Por ejemplo, la sólida base científica de Alemania fue decisiva para mejorar el diseño de los aviones, como lo fueron los esfuerzos deliberados de traducir y divulgar el conocimiento en materia de aviación. De igual modo, el mayor interés por parte del gobierno de los EE.UU. en el uso de semiconductores con fines de defensa, en comparación con Europa y el Japón, llevó a las empresas de estos últimos países a centrarse más en las aplicaciones de la electrónica de consumo. Asimismo, el ecosistema de innovación en los EE.UU. fue más favorable para el crecimiento de las empresas emergentes. Esto explica por qué los nuevos operadores en el mercado fueron un factor clave de la innovación en los EE.UU., mientras que en Europa la innovación se produjo en gran medida en empresas largo tiempo implantadas.¹⁶⁸ Es interesante señalar que las diferencias iniciales en los incentivos que ofrecían los ecosistemas nacionales de innovación terminaron teniendo consecuencias prolongadas para el desarrollo y la especialización industrial.

168. La literatura económica ha explorado de manera formal las diferencias en el rendimiento innovador de las empresas en relación con su tamaño durante el ciclo de vida de los productos de una industria (Klepper 1996).

Como observación final, los tres ecosistemas evolucionaron de manera considerable a medida que la innovación se desarrolló con el paso de los años y las décadas. Ante todo, la innovación aeronáutica experimentó una evolución pronunciada, desde los clubs de inventores aficionados a un ecosistema con grandes fabricantes que hacían un uso extensivo de la investigación y el desarrollo, proveedores independientes de repuestos y componentes, vínculos sólidos entre la industria y la universidad, y una industria transformadora de servicios. Los sistemas de innovación en la base de los antibióticos y los semiconductores también evolucionaron de manera significativa, incluso pese a sus diferencias en alcance y naturaleza. En los tres casos, destacan dos tendencias comunes. La primera de ellas fue que la respuesta de los protagonistas de la innovación – ya fueran individuos, laboratorios universitarios o empresas – a unos desafíos tecnológicos progresivamente más complejos se especializó de manera creciente. Una posible excepción fue la integración vertical de las compañías farmacéuticas basadas en la investigación en el caso de los antibióticos. La segunda tendencia fue que, a medida que la comercialización despegaba, la innovación transitó hacia una optimización de la tecnología para usos distintos y hacia una adaptación a las necesidades del mercado. Como se describió anteriormente, estas variantes de la innovación en evolución continua demostraron ser decisivas para alcanzar plenamente el potencial de cada una de las innovaciones.¹⁶⁹

169. Estos hallazgos coinciden en líneas generales con estudios sobre el ciclo de vida de los productos de industrias distintas. Véase, por ejemplo, Klepper (1996) y Malerba (2002).

La función de la P.I.

¿Qué importancia tuvo la protección de la P.I. en la historia de los aviones, los antibióticos y los semiconductores? En ausencia de una historia hipotética en la que no hubiera existido la protección de la P.I., es imposible contestar a esta pregunta con cierta solvencia. No obstante, estos tres estudios de caso contienen numerosas lecciones acerca del papel de la P.I.

En primer lugar, los innovadores recurrieron con frecuencia al sistema de P.I. para proteger los frutos de sus actividades en el campo de la innovación. En algunos periodos – y especialmente en el caso de los semiconductores – lo hicieron exhaustivamente. Sus motivaciones para hacerlo fueron diversas, pero los indicios disponibles sugieren que la protección de la P.I. contribuyó, al menos parcialmente, a la exclusividad sobre los beneficios en la investigación y el desarrollo, indicando de este modo que los derechos en materia de P.I. eran importantes para incentivar la innovación.¹⁷⁰

En segundo lugar, los ecosistemas de innovación florecieron en ocasiones como resultado de acuerdos explícitos o implícitos de intercambio de conocimientos. En el caso de los aviones, los primeros clubs de inventores aficionados operaron de manera no muy distinta a como lo hacen las comunidades modernas de “código abierto”. Posteriormente, los primeros fabricantes de aviones concedieron licencias de tecnología patentada a otros fabricantes, y los acuerdos formales sobre consorcios de patentes persiguieron de manera expresa fomentar la comercialización de nuevos aviones por parte de distintos fabricantes. En el caso de los antibióticos, la libre disponibilidad de nuevas herramientas de investigación demostró su importancia a la hora de estimular que un gran número de investigadores siguiera innovando. Por último, en el caso de los semiconductores, los acuerdos de concesión recíproca de licencias y los acuerdos tácitos de no ejecutar los derechos que confieren las patentes fueron igualmente importantes para la comercialización

170. La importancia de la protección de la P.I., como un medio para obtener la exclusividad sobre los beneficios derivados de las inversiones en investigación y desarrollo, estaba abocada a diferir entre las tres industrias estudiadas. En concreto, la producción de semiconductores y aviones requiere de una mayor inversión de capital por adelantado que la producción de productos farmacéuticos. Los costes de entrada en los mercados eran más altos en las antiguas industrias y esto pudo haber reducido la dependencia de las empresas de la protección de la P.I. cuando competían en el mercado.

de nuevas tecnologías y para que se siguiera innovando. En muchos casos, el sistema de P.I. favoreció el intercambio de conocimientos, en la línea de lo descrito en la sección 1.4 del capítulo anterior. Sin embargo, el intercambio de conocimientos también dependía de las normas sociales y, en determinados casos, de la intervención gubernamental. El caso de los semiconductores es especialmente interesante, dado que los litigios y las acciones de política industrial fueron un desafío a los planteamientos de concesión recíproca de licencias; no obstante, no queda claro en qué medida estos acontecimientos tuvieron un impacto significativo en la velocidad y la dirección de la innovación.

En tercer lugar, el propio sistema de P.I. se adaptó a las nuevas tecnologías emergentes. Al principio, las oficinas de patentes y los tribunales afrontaron cuestiones difíciles sobre la patentabilidad de los inventos fundacionales. Estas cuestiones tenían que ver con la patentabilidad de esos inventos, en virtud de los estándares legales imperantes en la época, y con la amplitud que podían tener las reivindicaciones de los inventos. La primera cuestión se suscitó en el caso de los antibióticos en sus primeras etapas y en el diseño de los semiconductores. La segunda cuestión estuvo en el centro de las controversias en torno a las patentes fundamentales de los hermanos Wright, con respecto a las cuales los tribunales en los EE.UU. y Europa llegaron a conclusiones diferentes. Los acuerdos de consorcio de patentes descritos anteriormente – en los que los gobiernos tuvieron algo que ver – también sirvieron para calibrar el sistema de patentes y apoyar de la mejor manera posible los ecosistemas de innovación predominantes en la época. De nuevo, en presencia de numerosas influencias contrapuestas, y descontando la perspectiva que da el tiempo, es difícil evaluar si los responsables políticos acertaron realmente. Es interesante señalar que la desviación más radical del conjunto tradicional de derechos en materia de P.I. – la creación de una nueva forma de P.I. para los esquemas de trazado de los circuitos integrados – resultó ser un fracaso, en el sentido de que no se utilizó demasiado. Si se puede extraer una lección de esta experiencia, es que los responsables políticos deben considerar cuidadosamente la naturaleza dinámica de la tecnología a la hora de reformar las políticas en materia de P.I.

Por último, echando un vistazo al panorama mundial de la P.I., la información disponible indica que, en los tres casos, los innovadores buscaron la protección que confieren las patentes en los países de ingresos altos, que es donde se produjo la mayor parte de la innovación. Únicamente un pequeño porcentaje de primeras solicitudes de patente presentadas en los campos tecnológicos correspondientes tuvieron sus equivalentes en las economías de ingresos bajos y medianos. Globalmente, esto sugiere que las patentes no fueron útiles para la difusión de tecnologías, cuando esta difusión realmente ocurría, ni perjudiciales cuando no ocurría (véase también la sección 1.4). Más bien, apunta a la presencia o a la ausencia de una capacidad de asimilación tecnológica como el factor principal que explica el alcance de la difusión.

Referencias

- Acemoglu, D., & Johnson, S. (2007). Disease and development: The effect of life expectancy on economic growth. *Journal of Political Economy*, 115:6.
- Achilladelis, B. (1993). The dynamics of technological innovation: The sector of antibacterial medicines. *Research Policy*, 22 (4), 279-308.
- Anderson, J. D. (1997). *A history of aerodynamics and its impact on flying machines*. Cambridge: Cambridge University Press.
- Appleyard, M. M. (1996). How does knowledge flow? Interfirm patterns in the semiconductor industry. *Strategic Management Journal*, 17 (S2), 137- 154.
- ATAG. (2005). *The economic and social benefits of air transport*. Geneva: Air Transport Action Group.
- Bentley, R., & Bennett, J. W. (2003). What is an antibiotic? Revisited. *Advances in applied microbiology* 52: 303-331.
- Bentley, R. (2009). Different roads to discovery; Prontosil (hence sulfa drugs) and penicillin (hence β -lactams). *Journal of industrial microbiology & biotechnology* 36.6: 775-786.
- Bhalotra, S. R., & Venkataramani, A. (2012). *Shadows of the captain of the men of death: Early life health interventions, human capital investments, and institutions*.
- Bittlingmayer, G. (1988). Property rights, progress and the aircraft patent agreement. *Journal of Law & Economics*, 31, 227-248.
- Boeing (2015). Orders & Deliveries. Retrieved August 21, 2015, from Boeing: www.boeing.com/commercial/#/orders-deliveries
- Bosworth, B. P., & Triplett, J. E. (2007). Services productivity in the United States: Griliches' services volume revisited. In E. R. Berndt & C. R. Hulten (Eds.), *Hard-to-measure goods and services: Essays in memory of Zvi Griliches* (pp. 413-447). Chicago: University of Chicago Press.
- Brooks, P. (1967). The development of air transport. *Journal of Transport Economics and Policy*, 1 (2), 164- 183.
- Budrass, L. (1998). *Flugzeugindustrie und Lufrüstung in Deutschland, 1918-1945*. Dusseldorf: Droste.
- Budrass, L. (2015). *The nature of airplanes as a breakthrough innovation and how IP rights shaped this innovation. A European perspective, 1903 to 1945*. Unpublished background report for the World Intellectual Property Report 2015.
- Byers, R. W. (2002). *Power and Initiative in Twentieth Century Germany: The Case of Hugo Junkers*. University of Georgia, Athens.
- Carpenter, D. (2014). *Reputation and power: organizational image and pharmaceutical regulation at the FDA*. Princeton University Press.
- Cohen, W. M., Nelson, R. R., & Walsh, J. P. (2000). Protecting their intellectual assets: Appropriability conditions and why U.S. manufacturing firms patent (or not). *NBER Working Papers*, No. 7552.
- Colecchia, A., & Schreyer, P. (2002). ICT investment and economic growth in the 1990s: Is the United States a unique case? A comparative study of nine OECD countries. *Review of Economic Dynamics*, 5 (2), 408- 442.
- Constant II, E. W. (1980). *The origins of the turbojet revolution*. Baltimore, London: The Johns Hopkins University Press.
- Crouch, T. D. (2002). *A Dream of Wings: Americans and the Airplane, 1875-1905*. New York, London: W. W. Norton.
- Crouch, T. D. (Ed.). (2000). *Blaming Wilbur and Orville: The Wright Patent Suit and the Growth of American Aeronautics*. Boston: Kluwer.
- Cutler, D., Deaton, A., & Lleras-Muney, A. (2006). The determinants of mortality. *The Journal of Economic Perspectives*, 20 (3), 97- 120.
- Davies, R. E. G. (1964). *History of World's Airlines*. Oxford: Oxford University Press.
- Deere, C. (2008). *The Implementation Game: The TRIPS Agreement and the Global Politics of Intellectual Property Reform in Developing Countries*. Oxford University Press.
- Dutfield, G. (2009). *Intellectual property rights and the life science industries: past, present and future*. World Scientific.
- Eubank, J. A. (1952). Aeronautical Patent Law. *Dickinson Law Review*, 56, 143-157.
- Fallows, J. (2013) The 50 Greatest Breakthroughs Since the Wheel. *The Atlantic magazine*, November 2013 Issue.
- Fink, C., Khan, M., & Zhou, H. (2015). Exploring the worldwide patent surge. *Economics of Innovation and New Technology*, in press.
- Flamm, K. (1996). *Mismanaged trade?: Strategic policy and the semiconductor industry*. Washington, DC: Brookings Institution Press.
- FTC (1958). *Economic Report on Antibiotics Manufacture*. US Government Printing Office. Federal Trade Commission.
- FTC (1977). *Economic report on the semiconductor industry: Staff report*. Washington, DC: Federal Trade Commission.
- FTC (2002). *Transcript of February 28, 2002 Patent Hearings*. Washington, DC: Federal Trade Commission.
- FTC (2003). *To Promote Innovation: The Proper Balance of Competition and Patent Law and Policy*. A Report by the Federal Trade Commission.
- Gibbs-Smith, C. H. (2003). *Aviation: An Historical Survey from its Origins to the End of the Second World War* (Third Edition ed.). London: Science Museum.
- Gordon, R. J. (2012). Is U.S. economic growth over? Faltering innovation confronts the six headwinds. *NBER Working Papers*, No. 18315.
- Grindley, P.C., & Teece, D.J. (1997). Managing intellectual capital: Licensing and cross-licensing in semiconductors and electronics. *California Management Review*, 39 (2), 1- 34.
- Hager, T. (2006). *The demon under the microscope: from battlefield hospitals to Nazi labs, one doctor's heroic search for the world's first miracle drug*. Broadway Books.
- Hall, B. H., & Ziedonis, R. H. (2001). The patent paradox revisited: An empirical study of patenting in the US semiconductor industry, 1979-95. *RAND Journal of Economics*, 32 (1), 101- 128.
- Hall, B. H., & Ziedonis, R. H. (2007). *An empirical analysis of patent litigation in the semiconductor industry*. Paper presented at the American Economic Association annual meeting, Chicago, IL.

- Hall, B. H. (2005). Exploring the patent explosion. *Journal of Technology Transfer*, 30 (1/2), 35- 48.
- Hanle, P. A. (1982). *Bringing aerodynamics to America*. Cambridge: The MIT Press.
- Hansen, J. R. (1987). *Engineer in Charge. A History of the Langley Aeronautical Laboratory, 1917-1958*. Washington, DC: National Aeronautics and Space Administration.
- Heilbron, J. L. (2003). *The Oxford Companion to the History of Modern Science*. Oxford: Oxford University Press.
- Henderson, R., Orsenigo, L., & Pisano, G. P. (1999). The pharmaceutical industry and the revolution in molecular biology: interactions among scientific, institutional, and organizational change. In D. Mowery & R. Nelson (Eds.), *Sources of industrial leadership: studies of seven industries* (pp.267-311). Cambridge University Press.
- Hoeren, T. (2015a). *Economic growth and breakthrough innovations – The semiconductor chip industry and its IP law framework*. Unpublished background report for the World Intellectual Property Report 2015.
- Hoeren, T. (2015b). *Copyright law and chip design – The overlap of industrial property and copyright law protection*. Unpublished manuscript.
- Hummels, D. (2007). Transportation costs and international trade in the second era of globalization. *The Journal of Economic Perspectives*, 21 (3), 131-154.
- ICAO (1960). *Annual Report of the Council to the Assembly for 1960*. Montreal: International Civil Aviation Organization
- ICAO (2006). *Economic Contribution of Civil Aviation (Circular 292)*.
- Jaczynska, E., Outterson, K., & Mestre-Ferrandiz, J. (2015). *Business Model Options for Antibiotics: Learning from Other Industries*. Research Report, publications on Business models and strategy, Big Innovation Centre, London, UK.
- Jaffe, A. B., & Lerner, J. (2004). *Innovation and its discontents: How our broken patent system is endangering innovation and progress, and what to do about it*. Princeton, NJ: Princeton University Press.
- Jayachandran, S., Lleras-Muney, A., & Smith, K. V. (2010). Modern Medicine and the Twentieth Century Decline in Mortality: Evidence on the Impact of Sulfa Drugs. *American Economic Journal: Applied Economics*, 118-146.
- Jorgenson, D. W., & Stiroh, K. J. (2000). Raising the speed limit: U.S. economic growth in the information age. *OECD Economics Department Working Papers*, No. 261.
- Jorgenson, D. W. (2001). Information technology and the U.S. economy. *American Economic Review*, 91 (1), 1- 32.
- Jorgenson, D. W., & Motohashi, K. (2005). Information technology and the Japanese economy. *NBER Working Papers*, No. 11801.
- Kingston, W. (2000). Antibiotics, invention and innovation. *Research Policy*, 29 (6), 679- 710.
- Kingston, W. (2001). Innovation needs patents reform. *Research Policy*, 30 (3), 403- 423.
- Kingston, W. (2004). Streptomycin, Schatz v. Waksman, and the balance of credit for discovery. *Journal of the history of medicine and allied sciences*, 59(3): 441-462.
- Klepper, S., & Simons, K. L. (1997). Technological extinctions of industrial firms: An inquiry into their nature and causes. *Industrial and Corporate Change*, 6 (2), 379- 460.
- Klepper, S. (1996). Entry, exit, growth, and innovation over the product life cycle. *American Economic Review*, 86 (3), 562- 583.
- Landau, R., Achilladelis B. & Scriabine, A. (1999) *Pharmaceutical innovation: revolutionizing human health*. Vol. 2. Chemical Heritage Foundation.
- Langlois, R. N., & Steinmueller, W. E. (1999). The evolution of competitive advantage in the worldwide semiconductor industry, 1947-1996. In D.C. Mowery & R. R. Nelson (Eds.), *Sources of industrial leadership: Studies of seven industries* (pp. 19-78). Cambridge, UK: Cambridge University Press.
- Le Fanu, J. (2011). *The rise and fall of modern medicine*. Hachette UK.
- Lécuyer, C., & Brock, D. C. (2010). *Makers of the microchip: A documentary history of Fairchild Semiconductor*. Cambridge, Mass: MIT Press.
- Lesch, J. E. (2007). *The first miracle drugs: how the sulfa drugs transformed medicine*. Oxford University Press, USA.
- Levin, R. C. (1982). The semiconductor industry. In R. R. Nelson (Ed.), *Government and technical progress: A cross-industry analysis* (pp. 9-100). New York: Pergamon Press.
- Levin, R. C., Klevorick, A. K., Nelson R. R., & Winter S. (1987). Appropriating the returns from industrial research and development. *Brookings Papers on Economic Activity*, 18 (3), 783- 832.
- Ludlow, T. (2014). Sign of the Times: Trends in Technology IP Licensing. *Intellectual Asset Management*, 66, 31- 38.
- Malerba, F. (1985). *The semiconductor business: The economics of rapid growth and decline*. London: F. Pinter.
- Malerba, F. (2002). Sectoral systems of innovation and production. *Research Policy*, 31 (2), 247- 264.
- Mann, J. (2004). *Life Saving Drugs: The Elusive Magic Bullet*. Royal Society of Chemistry.
- McKelvey, M., Orsenigo L., & Pammolli, F. (2004). Pharmaceuticals Analyzed through the Lens of a Sectoral Innovation System. In F. Malerba (Ed.), *Sectoral Systems of Innovation* (pp.). Cambridge University Press, Cambridge.
- Merges, R. P., & Nelson, R. R. (1990). *On the complex economics of patent scope*. Columbia Law Review: 839-916.
- Meyer, P. B. (2013). The Airplane as an Open-Source Invention. *Revue économique*, 64(1), 115-132.
- Miller, R., & Sawers, D. (1968). *The Technical Development of Modern Aviation*. London: Routeledge & Kegan Paul PLC.
- Mokyr, J. (2002). *The gifts of Athena: Historical origins of the knowledge economy*. Princeton University Press, 2002.
- Morris, P. R. (1990). *A history of the world semiconductor industry*. London: P. Peregrinus on behalf of the Institution of Electrical Engineers.
- Motohashi, K. (2008). Licensing or not licensing? An empirical analysis of the strategic use of patents by Japanese firms. *Research Policy*, 37 (9), 1548-1555.

- Mowery, D. C. (2015). "Breakthrough innovations" in aircraft and the IP system, 1900-1975. *WIPO Economic Research Working Paper*, no 25.
- Mowery, D. C., & Sampat, B. N. (2001a). Patenting and licensing university inventions: lessons from the history of the research corporation. *Industrial and Corporate Change*, 10 (2), 317- 355.
- Mowery, D. C., & Sampat, B. N. (2001b). University patents and patent policy debates in the USA, 1925-1980. *Industrial and Corporate Change*, 10 (3), 781- 814.
- Mowery, D. C., Nelson, R. R., Sampat, B. N., & Ziedonis, A.A. (2004). *Ivory tower and industrial innovation: University-Industry Technology Transfer Before and After the Bayh-Dole Act*. Stanford Business Books, Palo Alto, USA.
- Nakagawa, Y. (1985). *Semiconductor development in Japan*. Tokyo: Diamond Publishing.
- Neushul, P. (1993). Science, government and the mass production of penicillin. *Journal of the history of medicine and allied sciences*, 48 (4): 371- 395.
- Nordhaus, W. D. (2002). *The health of nations: the contribution of improved health to living standards*. No. w8818. National Bureau of Economic Research.
- OECD (2004). *The economic impact of ICT: Measurement, evidence and implications*. Paris: OECD Publishing.
- OECD (2015). *The future of productivity*. Paris: OECD Publishing.
- Outterson, K., Balch-Samora, J., & Keller-Cuda, K. (2007). Will longer antimicrobial patents improve global public health? *The Lancet infectious diseases*, 7(8): 559-566.
- Pilat, D., & Wöfl, A. (2004). ICT production and ICT use: What role in aggregate productivity growth?. In OECD, *The economic impact of ICT: measurement, evidence and implications* (pp. 85-104). Paris: OECD Publishing.
- Podolsky, S. (2015). *The Antibiotic Era*. Johns Hopkins University Press.
- PwC (2014). *China's impact on the semiconductor industry*. New York: PricewaterhouseCoopers.
- Ristuccia, C.A., & Solomou, S. (2014). Can General Purpose Technology Theory Explain Economic Growth? Electrical Power As a Case Study. *European Review of Economic History*, 18(3): 227-247.
- Rosenberg, N. (1969). The direction of technological change: inducement mechanisms and focusing devices. *Economic Development and Cultural Change*, 1-24.
- Ruttan, V. W. (2000). *Technology, growth, and development: An induced innovation perspective*. Oxford, UK: Oxford University Press.
- Ruttan, V. W. (2006). *Is War Necessary For Economic Growth?* Oxford, UK: Oxford University Press.
- Sampat, B. (2015). Intellectual Property Rights and Pharmaceuticals: The Case of Antibiotics. *WIPO Economic Research Working Papers*, no 26.
- Shapiro, C. (2000). Navigating the patent thicket: Cross licenses, patent pools and standard setting. In A. Jaffe, J. Lerner, & S. Stern (Eds.), *Innovation Policy and the Economy Vol. 1* (pp. 119-150). Cambridge, Mass.: MIT Press.
- Sheehan, J. C. (1982) *The enchanted ring: the untold story of penicillin*. MIT Press (MA).
- Shurkin, J. N. (2006). *Broken genius: The rise and fall of William Shockley, creator of the electronic age*. London: Macmillan.
- So, A. D., Gupta N., Brahmachari, S.K., Chopra, I., Munos, B., Nathan, C., et al (2011). Towards new business models for R&D for novel antibiotics. *Drug Resistance Updates*, 14(2):88-94.
- Staniland, M. (2003). *Government Birds: Air Transport and the State in Western Europe*. Oxford: Rowman & Littlefield Publishers.
- Stiroh, K.J. (2002). Information technology and the U.S. productivity revival: What do the industry data say?. *American Economic Review*, 92, 1559-1576.
- Taylor, C. T., Silberston, A., & Silberston Z. A. (1973). *The economic impact of the patent system: a study of the British experience*. Vol. 23. CUP Archive.
- Temin, P. (1979). Technology, regulation, and market structure in the modern pharmaceutical industry. *The Bell Journal of Economics*: 429-446.
- Temin, P. (1980). *Taking your medicine: drug regulation in the United States*. Harvard University Press.
- Tilton, J.E. (1971). *International diffusion of technology: The case of semiconductors*. Washington, DC: Brookings.
- Trischler, H. (1992). *Luft- und Raumfahrtforschung in Deutschland 1900-1970: Politische Geschichte einer Wissenschaft*. Frankfurt, New York: Campus Verlag.
- Van Ark, B., & Inklaar, R. (2005). *Catching up or getting stuck? Europe's problems to exploit ICT's productivity potential*. Paper presented at the International Symposium on Productivity, Competitiveness and Globalisation, Paris.
- Van Ark, B. (2014). *Productivity and digitalisation in Europe: Paving the road to faster growth*. The Conference Board and the Centre for Innovation Economics.
- Vogel, D. (1998). The globalization of pharmaceutical regulation. *Governance* 11(1): 1-22.
- Von Hippel, E. (1982). Appropriability of innovation benefit as a predictor of the source of innovation. *Research Policy*, 11 (2), 95- 115.
- Wainwright, M. (1990). *Miracle cure: The story of penicillin and the golden age of antibiotics*. Blackwell.
- Welch H. (1954). *The manual of antibiotics, 1954-1955*. Medical Encyclopedia, Inc. New York, USA.
- Wolfson, J. A. (1993). Patent flooding in the Japanese Patent Office: Methods for reducing patent flooding and obtaining effective patent protection. *George Washington Journal of International Law and Economics*, 27, 531- 563.
- WSTS (2015). *WSTS Semiconductor Market Forecast Spring 2015*. Retrieved July 9, 2015, from: www.wsts.org/PRESS/PRESS-ARCHIVE/WSTS-Semiconductor-Market-Forecast-Spring-2015
- Zhegu, M. (2007). *La coévolution des industries et des systèmes d'innovation: l'industrie aéronautique*. Université du Québec à Montréal, Montreal.

Capítulo 3

Innovaciones con potencial revolucionario

El panorama actual de la innovación ha evolucionado mucho desde los inicios del crecimiento impulsado por la innovación. Tal y como se describe en el capítulo 1, la economía mundial nunca antes ha destinado tantos recursos públicos y privados a ampliar la frontera mundial de los conocimientos. La innovación está más diversificada geográficamente que hace un siglo, a tenor de la aparición de economías asiáticas –especialmente China– como nuevas fuentes de innovación. Y la innovación nunca ha sido tan variada como lo es en la actualidad. Productos que se introdujeron en el mercado hace tiempo, como el coche y la fibra textil, siguen experimentando rápidos avances tecnológicos. Además, han surgido campos de innovación que ofrecen nuevas posibilidades para abordar las necesidades y los desafíos de la humanidad. Las tecnologías de la información y de las comunicaciones (TIC) han tenido una fuerte incidencia en el proceso de innovación, en particular al facilitar los descubrimientos científicos y la investigación y desarrollo (I+D) con fines comerciales, por medio del rápido tratamiento de los datos y al estimular el fecundo intercambio de ideas entre diferentes sectores de la tecnología.

Sin embargo, no se ha vuelto necesariamente más fácil lograr innovaciones revolucionarias y conseguir que se difundan en todos los sectores de la economía, obteniendo dividendos duraderos que reflejen un crecimiento económico. Los problemas tecnológicos están alcanzando una complejidad cada vez mayor, y es posible que existan límites naturales en relación con las posibilidades de mejorar aún más los logros pasados, como la velocidad de los desplazamientos, la alta esperanza de vida y las comunicaciones de larga distancia. No queda claro con cuánto éxito superarán estos desafíos los sistemas de innovación reforzados de hoy en día.

En este capítulo se analizan tres innovaciones que actualmente parecen tener un enorme potencial: la impresión en 3D, la nanotecnología y la robótica. Al igual que con la selección de los estudios de casos del capítulo 2, la elección de estos tres campos de la innovación es un tanto arbitraria. No obstante, las tres aparecen en los debates contemporáneos acerca de las tecnologías que podrían estimular el crecimiento en el futuro.¹ Asimismo, todas poseen al menos algunas características de una tecnología de uso general, especialmente porque cuentan con una amplia variedad de usos y pueden encontrar aplicación en un gran número de sectores.²

Los tres estudios de casos se presentan en las secciones 3.1 (la impresión en 3D), 3.2 (la nanotecnología) y 3.3 (la robótica). El análisis del tema sigue la estructura de los estudios de casos del capítulo 2; en primer lugar, se aborda el origen de cada innovación y su contribución al crecimiento, para analizar a continuación su ecosistema y, por último, analizar la función que desempeña la P.I. En la sección 3.4 se trata de presentar algunas de las principales enseñanzas extraídas de los tres casos.

Es importante advertir que la impresión en 3D, la nanotecnología y la robótica –aunque no son totalmente nuevas– aún están en etapas relativamente tempranas de desarrollo. A diferencia del capítulo 2, no puede aplicarse por lo tanto a los estudios de caso de este capítulo la sabiduría que da la experiencia, por lo que en algunos casos el análisis de la cuestión es, de alguna manera, especulativo. De hecho, existe una gran incertidumbre sobre la manera en que las tres innovaciones determinarán el crecimiento futuro y en este capítulo no se pretende dar certezas. Es importante tener en mente esta incertidumbre durante la lectura de los tres casos.

1. Véase, por ejemplo, Mokyr (2014) y los informes sobre la actividad de patentamiento en relación con nuevas tecnologías prometedoras producidos por la UKIPO en www.gov.uk/government/collections/intellectual-property-research-patents.
2. Tal y como se ha señalado en la introducción del capítulo 2, no se ha alcanzado consenso respecto de la definición de "tecnología de uso general".

3.1 : La impresión en 3D

“El próximo paso de la impresión en 3D será imprimir tipos de materiales totalmente nuevos. Con el tiempo, imprimiremos productos completos – con circuitos, motores y baterías incorporados. Llegado ese momento, cualquier cosa puede ocurrir.”

Hod Lipson,
director del *Creative Machines Lab*
de la *Cornell University*

La impresión en 3D –conocida en el mundo empresarial como *fabricación aditiva*– hace referencia a una serie de tecnologías de fabricación con las que se crean objetos en 3D mediante la adición de capas sucesivas de material una sobre otra, todo ello asistido por programas informáticos especializados tanto para el control de los procesos como para el diseño de objetos.

En esta sección se analiza el desarrollo de la impresión en 3D y su contribución económica. A continuación, se describe el ecosistema que ha dado origen a esta innovación, prestando especial atención a los factores que han sido decisivos para su avance. Por último, se aborda la función que desempeña el sistema de P.I. en el desarrollo de la impresión en 3D y se apuntan algunos desafíos que esta innovación podría plantear a ese sistema.³

3.1.1 – El desarrollo de la impresión en 3D y su importancia económica

En un sentido general, el origen tecnológico de la impresión en 3D se remonta al siglo XIX, a los trabajos de fotoescultura y topografía.

Pero no fue sino hasta finales de la década de 1960 que comenzaron los intentos de crear objetos tridimensionales mediante programas informáticos especializados. Uno tuvo lugar en el *Battelle Memorial Institute* en Columbus, Ohio, y el otro lo realizó Wyn Kelly Swainson en Berkeley, California. Una década más tarde, el científico japonés Hideo Kodama, del *Nagoya Municipal Industrial Research Institute*, publicó la primera técnica funcional de impresión en 3D.

Poco después, aparecieron diferentes procesos de impresión en 3D (véase el cuadro 3.1). Cada uno de ellos se basaba en una técnica de impresión diferente, y también existían algunas variaciones en el tipo de materia prima empleada para la impresión.

Para complementar el procedimiento de impresión en 3D, se necesitaba un nuevo formato de fichero que describiera la geometría de la superficie de los objetos en 3D. 3D Systems –la empresa que introdujo la primera impresora tridimensional con fines comerciales basada en la *estereolitografía*– también desarrolló el primer formato de fichero, conocido como STL.⁴ Ese formato evolucionó de tal forma que su uso ha constituido una norma en el sector hasta hace poco.

Conforme aumentaba la aceptación de esta innovación en la fabricación con fines comerciales, surgió un segmento de mercado diferente: la impresión en 3D para uso personal, también conocida como fabricación personal.

A mediados de la década de 2000, investigadores de universidades como la *University of Bath*, el *Massachusetts Institute of Technology* (MIT), la *Cornell University* y la *Stanford University* se propusieron impulsar este segmento de mercado estudiando formas de facilitar el acceso a la impresión en 3D. Su objetivo era desarrollar impresoras tridimensionales que fueran compactas y tuvieran una aplicación general.⁵

Uno de esos proyectos, *RepRap*, se concibió para crear una impresora tridimensional de código abierto que se reprodujera a sí misma. Su desarrollo, junto con productos y servicios auxiliares, ha reducido considerablemente el precio de las impresoras tridimensionales para uso personal, con lo que se ha facilitado el acceso a los consumidores interesados.

RepRap también ha creado un ecosistema próspero de fabricantes de equipos, programadores de *software* y proveedores de servicios, todos los cuales respaldan el mercado de consumo de las impresoras tridimensionales. Algunas de las impresoras tridimensionales para uso personal disponibles actualmente, así como las tecnologías que contienen, se basan en equipos y programas informáticos de código abierto de *RepRap*.

3. Esta sección se basa en Bechtold (2015).

4. STL proviene de eSTereoLitografía, aunque también corresponde a *Standard Tessellation Language*.

5. Lipson (2005).

Cuadro 3.1: Algunos procesos destacados de impresión en 3D

Año*	Tecnología	Tipo	Inventor original	Empresa
1984	Estereolitografía	Técnica de fotopolimerización: un fotopolímero líquido se solidifica en una cuba mediante una fuente de luz controlada, por ejemplo, un láser ultravioleta. Este láser endurece las regiones expuestas del polímero. El proceso se repite capa a capa hasta que el objeto queda terminado.	Charles Hull (cuando trabajaba para UPV, Inc.)	3D Systems
1986	Sinterizado selectivo por láser	Técnica de fusión de lecho de polvo: se aplica un rayo láser a una capa de polvo depositada en una plataforma de fabricación. El láser sinteriza el material hasta alcanzar la forma adecuada. A continuación, la plataforma de fabricación baja y el láser se aplica a la siguiente capa.	Carl Deckard (tesis doctoral presentada en la <i>University of Texas, Austin</i>)	La <i>University of Texas, Austin</i> , concedió la licencia a Nova Automation, que posteriormente adoptó el nombre DTM Corporation, adquirida por 3D Systems en 2001
1989	Modelado por deposición de hilo fundido; generalmente conocido como método de extrusión de termoplásticos (véase el recuadro 3.2)	Proceso de extrusión de materiales: el material se dispensa selectivamente a través de una boquilla o un orificio.	Scott Crump	Stratasys
1989	Impresión en 3D (impresión tridimensional)	Proceso de inyección de aglutinante: un cabezal de impresión de inyección de tinta dispersa adhesivo para aglutinar localmente material pulverulento, con un funcionamiento similar al de una impresora de inyección de tinta convencional.	Emanuel Sachs y su equipo	El MIT concedió la licencia a varias empresas para su comercialización, en particular a Z Corporation, que posteriormente fue adquirida por 3D Systems en 2012

* Se refiere al año de primera presentación de la solicitud de patente.

Fuente: Bechtold (2015)

Pero no todos pueden poseer una impresora tridimensional o tienen la capacidad para construirse una; de ahí la existencia de *Fab Lab*. *Fab Lab* es un proyecto que se inició en el MIT en 2001, dirigido por Neil Gershenfeld, que se centra en crear laboratorios de fabricación de bajo costo y de código abierto. El principio básico es alentar a los usuarios a que creen lo que necesiten sin tener que negociar licencias para acceder a sistemas de impresión en 3D. Los *Fab Lab* son básicamente laboratorios equipados con herramientas electrónicas y de fabricación de calidad industrial que funcionan con programas informáticos de código abierto y programas relacionados desarrollados en el MIT. Los usuarios pueden emplear estos laboratorios para crear e imprimir objetos que quieran o necesiten sin tener que comprar sistemas de impresión en 3D.

Una importancia comercial cada vez mayor

La impresión en 3D ha tenido incidencia en los procesos de producción de diversos sectores desde que se introdujo por primera vez en el mercado. Primero encontró aplicación como un proceso de creación rápida de prototipos. Ingenieros y diseñadores industriales la emplearon para acelerar sus operaciones de diseño y creación de prototipos, gracias a lo cual ahorraron tiempo y dinero.

Paulatinamente, conforme se introducían métodos de impresión en 3D más novedosos que utilizaban nuevas materias primas, encontró un ámbito de aplicación en la producción de componentes o incluso productos acabados en varios sectores industriales, como el aeroespacial y el aeronáutico, o de automoción, construcción, diseños industriales, productos médicos y defensa. Incluso se ha empleado para crear productos de consumo en los ámbitos de la moda, el calzado y la joyería, en el sector de la óptica y en la industria alimentaria.

Para las empresas de esos sectores, la impresión en 3D permite la producción de una cantidad reducida de productos a bajo coste. Esto resulta atractivo para las empresas con producción en serie limitada.⁶

En muchos de estos casos, la impresión en 3D reduce el tiempo y el costo de producción de las empresas. En un informe de consultoría se calcula que la reducción del gasto gracias a la utilización de sistemas de impresión en 3D para producir piezas de repuesto destinadas a servicios de funcionamiento, mantenimiento y reparación en el mercado aeroespacial mundial podría ascender a 3,4 mil millones de dólares de los EE.UU. (USD).⁷

6. Bechtold et al (2015).

7. Suponiendo que el 50% de las piezas se impriman con sistemas de impresión en 3D (PwC y M Institute, 2014).

En cuanto al segmento de mercado de la impresión en 3D para uso personal, el desarrollo de iniciativas de impresión en 3D de código abierto y la expiración de patentes relacionadas han reducido el precio de las impresoras, con lo que ahora son más asequibles (véase la subsección 3.1.3 sobre la función que desempeñan las patentes).⁸ Las impresoras de bajo costo y los laboratorios de fabricación para uso personal han facilitado la difusión de la tecnología en muchas comunidades y han contribuido a satisfacer sus diversas necesidades.

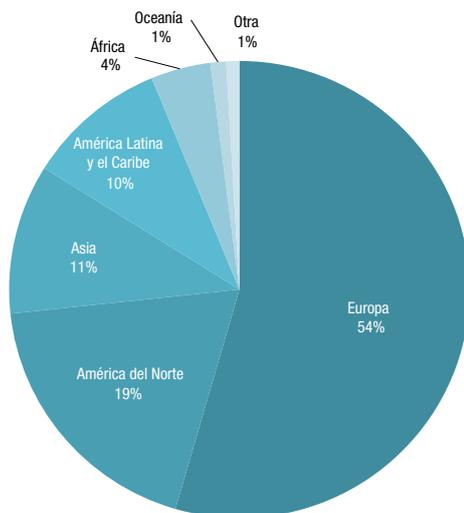
Por ejemplo, los primeros *Fab Lab* que se establecieron en la India, Ghana, el norte de Noruega y el centro urbano de Boston, en los EE.UU., han permitido a innovadores locales crear herramientas destinadas a evaluar la seguridad de la leche para el consumo y probar máquinas agrícolas, bloques útiles para las empresas locales de bordado, etiquetas de datos que permitan el seguimiento de rebaños mediante teléfonos celulares, y células solares y joyas a partir de chatarra. Actualmente, existen casi 550 *Fab Lab* por todo el mundo. Se localizan principalmente en los EE.UU. y en Europa, pero, aun así, hay 23 *Fab Lab* en África, 58 en Asia y 54 en América Latina y el Caribe (véase la figura 3.1).

Un efecto prometedor

La posible incidencia de la impresión en 3D es significativa. En primer lugar, puede desempeñar un papel cada vez más importante no solo en la creación rápida de prototipos, sino también en la producción de componentes e incluso productos acabados.⁹ Por ejemplo, se ha empleado en el sector médico para producir cavidades a medida para los recambios de cadera y carcasas de audífonos.¹⁰ Al evitar los medios de fabricación tradicionales, sería posible adaptar los productos a las especificaciones de los clientes a gran escala, reducir los costos de mantenimiento de existencias y optimizar el diseño de los productos. En segundo lugar, puede conducir a un mundo de fabricación descentralizada. Dado que la creación de información acerca de un objeto está separada de su producción mediante impresión en 3D, los canales de producción tradicionales –tanto los de suministro como los de distribución– podrían verse afectados.¹¹ Básicamente, los objetos podrían crearse en otro lugar, pero producirse en un sitio próximo al cliente, o incluso el propio cliente podría encargarse de la producción. Esto podría llevar a aplicar la innovación en los modelos comerciales, para lograr así un enfoque eficaz de mercados especializados y la integración de los clientes en la cadena de valor.¹²

Figura 3.1: Los *Fab Lab* están presentes en casi todos los rincones del mundo

Porcentaje de *Fab Lab* por región, 2015



Fuente: The Fab Foundation (2015)

8. Véase Lipson y Kurman (2013), West y Kuk (2014), Bechtold *et al* (2015) y Campbell *et al* (2012).

9. Véase Bechtold *et al* (2015).

10. Véase Lipson y Kurman (2013) y Bechtold *et al* (2015).

11. Véase Desai y Magliocca (2014) y Lemley (2014)

12. Ghilassene (2014) et Rayna & Striukova (2014)

En tercer lugar, la impresión en 3D puede tener un profundo impacto en zonas geográficas que estén alejadas de plantas de fabricación o incluso de los canales de distribución. La impresión en 3D brinda a esas comunidades aisladas la posibilidad de elaborar o fabricar piezas de repuesto o productos que, de lo contrario, podrían ser difíciles de adquirir. Una posible aplicación sería en las economías menos desarrolladas que puedan estar alejadas de los canales habituales de distribución. La impresión en 3D puede permitirles adquirir productos a menor costo al evitar las cadenas tradicionales de fabricación y distribución.¹³ Y, tal y como se ha demostrado con los *Fab Lab*, podría proporcionar soluciones diseñadas por ellos mismos para problemas locales, lo cual acarrearía grandes beneficios para estas economías. Otra comunidad aislada, muy diferente, que podría beneficiarse de la impresión en 3D es la Estación Espacial Internacional, donde es muy difícil hacerse con piezas de repuesto.

Y, en último lugar, conforme aumente la fiabilidad de las impresoras tridimensionales para uso personal, y su diseño y comercialización mejoren considerablemente, tendrán el potencial de atraer a los consumidores mediante la reducción del precio y del impacto ambiental de los productos impresos.¹⁴

Dados los cambios que la impresión en 3D podría ocasionar en los procesos de fabricación y los canales de distribución, es probable que su uso cada vez mayor repercuta en los mercados locales de trabajo.¹⁵ Por ejemplo, cabe pensar que la demanda de empleo pueda desplazarse de los sectores tradicionales de fabricación para pasar al sector de la impresión en 3D. Pero, hasta ahora, ningún estudio ha investigado este efecto.

Las estimaciones sobre el crecimiento y la incidencia de la impresión en 3D varían mucho. Los observadores del mundo empresarial prevén que el mercado de la impresión en 3D genere ingresos por valor de 20 mil millones de USD en 2020.¹⁶ El impacto financiero de la tecnología se calcula entre 230 y 550 mil millones de USD al año en 2025, observándose la mayor repercusión en el consumo (de 100 a 300 mil millones de USD), en la fabricación directa (de 100 a 200 mil millones de USD) y en la creación de herramientas y moldes (de 30 a 50 mil millones de USD).¹⁷ Sin embargo, algunas proyecciones de crecimiento del mercado son mucho más prudentes que otras (véase el cuadro 3.2).

13. King *et al* (2014)

14. Véase Wittbrodt *et al* (2013) con respecto a los costos del ciclo de vida; y Kreiger y Pearce (2013), Bechthold *et al* (2015) y Lipson y Kurman (2013) en relación con el impacto ambiental.

15. Lipson y Kurman (2013)

16. Wohlers Associates (2014).

17. McKinsey Global Institute (2013)

Cuadro 3.2: Las estimaciones del mercado en relación con la impresión en 3D varían considerablemente

Mercado	Estimación de tamaño/tasa de crecimiento potencial	Fuente
Industria mundial de la impresión en 3D (tecnologías, productos y servicios relacionados)	10,8 mil millones de USD en 2021	Wohlers & associates, 2013
Industria mundial de la impresión en 3D (tecnologías, productos y servicios relacionados)	4 mil millones de USD en 2025	Research and Markets, 2013
Mercado de materiales de impresión en 3D (entre ellos, plásticos, metales o cerámica)	TCAC del 19,9% hasta 2018 ¹⁸	RnR Market Research, 2014
Impresión en 3D para la aplicación médica	965,5 millones de USD en 2019, TCAC del 15,4%	Transparency Market Research

Fuente: Bechtold *et al* (2015).

Que las previsiones de incidencia en el futuro de la impresión en 3D resulten ser ciertas dependerá de si supera algunos desafíos técnicos. En primer lugar, el precio de las impresoras tridimensionales para uso industrial sigue siendo elevado, y oscila entre los 75.000 y los 90.370 USD; algunos sistemas industriales pueden llegar a costar más de 1 millón de USD.¹⁹ Y aunque el precio de las impresoras tridimensionales para uso personal ha disminuido significativamente desde los más de 30.000 USD que costaban hace varios años hasta los 1.000 USD que valen hoy en día, aún es prohibitivo para muchos.²⁰ Además, una materia prima adecuada es bastante más cara que muchas de las materias primas empleadas en los procesos tradicionales de fabricación. Una empresa de consultoría especializada estima que, en 2013, se gastaron 528,8 millones de USD en materias primas para impresoras tridimensionales.²¹

Asimismo, la impresión en 3D sigue siendo un proceso lento, que a menudo requiere muchas horas o días de impresión para acabar un objeto.

Por último, la medida en que crezca este mercado dependerá de la facilidad de uso que ofrezca en el futuro, de la adopción de la innovación más allá de círculos de entusiastas y piratas informáticos, y de muchos otros factores comerciales.

Recuadro 3.1: El desarrollo del potencial de la impresión en 3D depende del desarrollo de productos complementarios

Un factor importante que ha influido en la aplicación más amplia de la impresión en 3D es el desarrollo de productos complementarios, a saber, las materias primas y los programas informáticos de diseño.

Con las primeras versiones de las impresoras tridimensionales solamente se podía imprimir materiales de plástico, con lo que los fabricantes tradicionales desestimaban sin pensarlo la tecnología, dada la limitación de su aplicación.²² No obstante, hoy en día, las impresoras tridimensionales también imprimen usando materiales cerámicos, aleaciones de metales, vidrio, papel, fotopolímeros y, hasta cierto punto, células vivas y alimentos. Hasta hace poco, los programas informáticos de diseño empleados para crear imágenes digitales para su posterior impresión bastaban únicamente para la aplicación de la creación rápida de prototipos en los campos de los diseños industriales y la ingeniería, y para las necesidades de fabricación rápida de determinados fabricantes industriales. A pesar de haber experimentado algunas mejoras, aún están lejos de poder digitalizar por completo una representación de imágenes tan intrincada como el cuerpo humano y sus movimientos. Además, la impresión de productos avanzados, como un robot totalmente funcional, requeriría el desarrollo de un programa informático de diseño más sofisticado que pudiera tener en cuenta factores como la funcionalidad además del diseño de objetos.²³

Por lo tanto, es preciso realizar más inversiones en estos productos complementarios a fin de facilitar la difusión de esta innovación en todos los sectores industriales y en países con diferentes niveles de ingresos.

18. TCAC corresponde a tasa de crecimiento anual compuesto.

19. Véase McKinsey Global Institute (2013) y Wohlers Associates (2014).

20. McKinsey Global Institute (2013).

21. Wohlers Associates (2014).

22. Lipson y Kurman (2013)

23. Lipson y Kurman (2013)

3.1.2 –El ecosistema de la innovación en impresión en 3D

Numerosos factores y actores han contribuido al avance de la impresión en 3D. Actores de los sectores público y privado, avances en productos complementarios que se introducen en los sistemas de impresión en 3D y la demanda cada vez mayor de los consumidores tanto para uso industrial como para uso personal son algunos de los factores que han contribuido al avance de esta innovación.

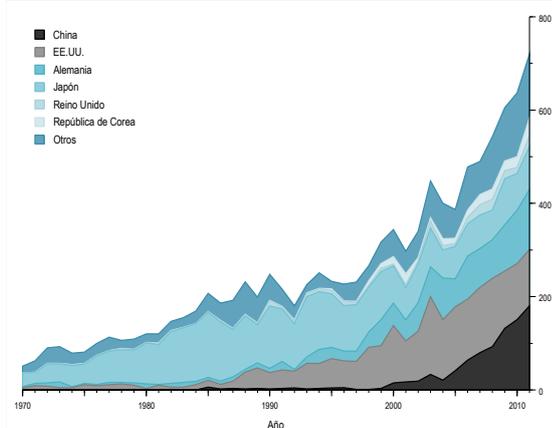
Panorama de la innovación en impresión en 3D

La mayoría de las invenciones en impresión en 3D patentadas se concentra en los EE.UU., Alemania, el Japón y, más recientemente, China.

En la figura 3.2 se muestra la evolución de las solicitudes de patente presentadas a lo largo de los años, por domicilio del solicitante, en los seis principales países. A principios de la década de 1980, los solicitantes del Japón fueron prolíficos en la solicitud de patentes de impresión en 3D, pero, en la década de 2000, los solicitantes de los Estados Unidos de América (EE.UU.) ya los habían adelantado. En 2010, los solicitantes de China eran los que más solicitudes de patente presentaban en impresión en 3D –casi tantas como los solicitantes del Japón y de los EE.UU. juntos.

Figura 3.2: China, Alemania, el Japón y los EE.UU. acaparan aproximadamente el 80% de todas las solicitudes de patente en impresión en 3D

Primeras solicitudes de patente presentadas, por origen, 1970-2011



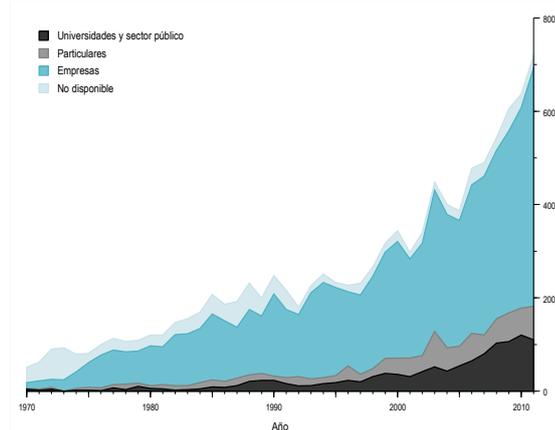
Fuente: OMPI a partir de datos de PATSTAT (véanse las notas técnicas).

Asimismo, la mayoría de los solicitantes de patentes de impresión en 3D son empresas (véase la figura 3.3). Esto no es sorprendente dado que muchos de los primeros inventores de este campo tienden a fundar sus propias empresas. Con la excepción de un puñado de grandes actores, estas empresas suelen ser pymes.²⁴

Las universidades participan cada vez más en este ámbito, aunque en un porcentaje mucho menor que las empresas. De hecho, dos de los procedimientos de impresión en 3D más importantes se originaron en el MIT y en el *University of Texas System*, en concreto en la *University of Texas, Austin*. Hasta el día de hoy, estas dos universidades poseen considerables Carteras de patentes en este ámbito. Sin embargo, las universidades normalmente conceden la licencia de estas patentes a empresas privadas para su comercialización. Por ejemplo, se concedió la licencia de la tecnología de impresión en 3D mediante inyección de tinta desarrollada por el MIT a varias empresas para su propia utilización y comercialización.²⁵

Figura 3.3: Las empresas solicitan la mayoría de las solicitudes de patente en impresión en 3D, pero hay una participación cada vez mayor de las universidades y el sector público

Primeras solicitudes de patente presentadas, por tipo de solicitante, 1970-2011



Fuente: OMPI a partir de datos de PATSTAT (véanse las notas técnicas).

24. *Expertenkommission Forschung und Innovation* (2015).

25. *Wohlers Associates* (2014).

La impresión en 3D para uso industrial

El mercado de la impresión en 3D para uso industrial se compone principalmente de pymes, pero dos grandes fabricantes de sistemas dominan el sector: Stratasy y 3D Systems, ambos con sede en los EE.UU. Estas dos empresas fueron de las primeras en actuar en el mercado – introduciendo sus propios procedimientos de impresión en 3D, la *estereolitografía* y el *modelado por deposición de hilo fundido*, respectivamente – y actualmente son los principales solicitantes de patentes en este sector, tal y como demuestra el número de solicitudes de patente presentadas que figura en el cuadro 3.3. Otros actores mundiales importantes son Beijing Tiertime, de China, y EOS y Envisontec, ambas con sede en Alemania.²⁶

Cuadro 3.3: Las diez principales empresas solicitantes de patentes, desde 1995

Nombre de la empresa	País	Número de primeras solicitudes de patente presentadas
3D Systems	EE.UU.	200
Stratasy	EE.UU.	200
Siemens	Alemania	145
General Electric	EE.UU.	131
Mitsubishi Heavy Industries Ltd	Japón	120
Hitachi	Japón	117
MTU Aero Engines	Alemania	104
Toshiba	Japón	103
EOS	Alemania	102
United Technologies	EE.UU.	101

Fuente: OMPI a partir de datos de la base de datos PATSTAT (véanse las notas técnicas).

La investigación ocupa un lugar preponderante en el sector de la impresión en 3D. Se necesitaron varias rondas de mejoras en los primeros procedimientos de impresión en 3D para desarrollar un proceso que funcionara adecuadamente.²⁷ Esta dependencia de actividades intensivas de I+D sigue existiendo hoy en día. Recientemente, una empresa de consultoría especializada en impresión en 3D reveló que las empresas gastaron de media el 19,1% de sus ingresos de 2013 en inversiones en I+D.²⁸

26. No obstante, Beijing Tiertime y Envisontec no figuran en la lista de los 10 principales solicitantes de patentes que aparece en el cuadro 3.3. Esto refleja nuestros criterios de búsqueda y selección basados en la información más reciente de que se dispone (véanse también las notas técnicas).

27. Prinz *et al* (1997).

28. Wohlers Associates (2014).

Apoyo al desarrollo por medio de iniciativas públicas y privadas

Diversas iniciativas gubernamentales han facilitado el desarrollo del sector de la impresión en 3D. En muchos casos, estas han contribuido a compensar el riesgo que supone invertir en I+D en este ámbito de innovación. A finales de la década de 1980, el *Osaka Prefectural Industrial Research Institute*, una institución pública de investigación del Japón, concedió la licencia de su invención en impresión en 3D a varias empresas japonesas para su desarrollo y fabricación. Estas empresas, entre las que figuran Mitsubishi Heavy Industries y NTT Data Communication, siguen siendo actores importantes del sector a día de hoy.

Más recientemente, se han implantado iniciativas gubernamentales a gran escala en los EE.UU., la Unión Europea y China, por nombrar algunos. Además de la financiación de investigaciones generales por medio de diversas fundaciones nacionales de ciencias de varios países, también se han financiado proyectos específicos de impresión en 3D. Por ejemplo, tanto el Departamento de Defensa de los EE.UU. como los laboratorios nacionales del Departamento de Energía de los EE.UU. han financiado de forma activa la investigación sobre impresión en 3D.²⁹ Algunos de estos proyectos están relacionados con aplicaciones energéticas, militares e incluso espaciales.³⁰ La UE reservó un presupuesto total de 225 millones de EUR para financiar investigaciones sobre impresión en 3D entre 2007 y 2013.

El Gobierno de China ha realizado grandes inversiones estratégicas en tecnologías de impresión en 3D; estas son más importantes para el avance de la innovación que las inversiones en I+D efectuadas por las empresas.³¹ La cuantiosa inversión en impresión en 3D por parte del Gobierno de China se refleja en el número de solicitudes de patente presentadas por las universidades chinas; en algunos casos, estas superan a las de

29. Wohlers Associates (2014).

30. La ARPA-E del Departamento de Energía de los EE.UU. financió hace poco un proyecto para fabricar un motor de inducción de 30 kW utilizando únicamente tecnologías de impresión en 3D (Langnau, 6 de octubre de 2014). La NASA está investigando el uso de tecnologías de impresión en 3D para fabricar piezas de repuesto en misiones en el espacio ultraterrestre, y el Centro de Investigaciones de Langley de la NASA dirige un grupo de trabajo interinstitucional del Gobierno de los EE.UU. sobre la impresión en 3D desde 2010 (Wohlers Associates, 2014).

31. *Expertenkommission Forschung und Innovation* (2015)

Cuadro 3.4: Las diez principales instituciones públicas de investigación y universidades solicitantes de patentes, desde 1995

Nombre de la universidad	País	Número de primeras solicitudes de patente presentadas
<i>Fraunhofer Society</i>	Alemania	89
<i>Chinese Academy of Sciences</i>	China	79
<i>Huazhong University of Science & Technology</i>	China	46
MIT	EE.UU.	37
<i>Xi'an Jiaotong University</i>	China	34
<i>University of Southern California</i>	EE.UU.	31
<i>South China University of Technology</i>	China	27
<i>Harbin Institute of Technology</i>	China	24
TNO	Países Bajos	24
<i>Beijing University of Technology</i>	China	17

Fuente: OMPI a partir de datos de PATSTAT (véanse las notas técnicas).

las universidades de los EE.UU. y de Europa (véanse el cuadro 3.4 y la figura 3.4).

Las iniciativas gubernamentales también desempeñan una segunda función: proporcionar vínculos entre los diferentes actores del ecosistema. Muchas de esas iniciativas congregan a investigadores del mundo académico y del sector privado junto a fabricantes, con el propósito de difundir la innovación en todos los sectores de la economía. Los EE.UU., por ejemplo, han invertido 50 millones de USD en una asociación entre los sectores público y privado a fin de incorporar las tecnologías de impresión en 3D en los principales procesos de fabricación.³² Esta asociación reúne a 50 empresas, 28 universidades y laboratorios de investigación y otras 16 organizaciones. El Gobierno de Australia anunció hace poco una iniciativa similar que reuniría a 14 empresas manufactureras, 16 universidades locales, 4 organismos del sector, la agencia federal para la investigación científica de Australia y el *Fraunhofer Institute for Laser Technology*. Una de las empresas manufactureras que participa en la iniciativa es SLM Solutions GmbH, un fabricante alemán de sistemas de impresión en 3D.³³

Además, el sector de la impresión en 3D también está ejerciendo presión para facilitar que otros sectores adopten esta innovación. Actualmente hay iniciativas en curso para normalizar términos, procedimientos, interfaces y tecnologías de fabricación en los EE.UU. y Europa. Una de ellas es el Comité F42 de ASTM International sobre Tecnologías de Fabricación Aditiva, de los EE.UU., otra es el proyecto europeo *Support Action for Standardization in Additive Manufacturing (SASAM)*.

ASTM International –una organización internacional de normalización de materiales, productos, sistemas y servicios– también ha adoptado un nuevo formato de fichero estándar para transferir información entre los programas de diseño y los sistemas de impresión en 3D. El nuevo formato de fichero basado en XML puede representar información acerca del color, la textura, el material, la subestructura y otras propiedades de un objeto. En cambio, la norma industrial de facto, STL, solo permite la representación de información acerca de una malla de superficie.

La impresión en 3D para uso personal

A diferencia del mercado de la impresión en 3D para uso industrial, el mercado de la impresión en 3D para uso personal se creó a partir de una infraestructura que pretende mantener el diseño y la composición de la innovación abiertos a todos fomentando una dinámica colaborativa y de intercambio entre innovadores y usuarios. Esto ha llevado a un ecosistema de la innovación bien diferenciado que consiste en entusiastas del código abierto, fabricantes de equipos, programadores de *software*, proveedores de servicios, métodos novedosos de financiación y usuarios innovadores.

En este ecosistema, los avances innovadores proceden de los consumidores así como de las empresas que fabrican impresoras tridimensionales.³⁴ Los usuarios pueden explorar nuevas aplicaciones de las impresoras tridimensionales y quienes cuentan con los conocimientos suficientes puede que incluso sean capaces de modificar y mejorar los equipos físicos y los programas informáticos existentes. La función de este usuario en la innovación es una característica poco común del ecosistema.

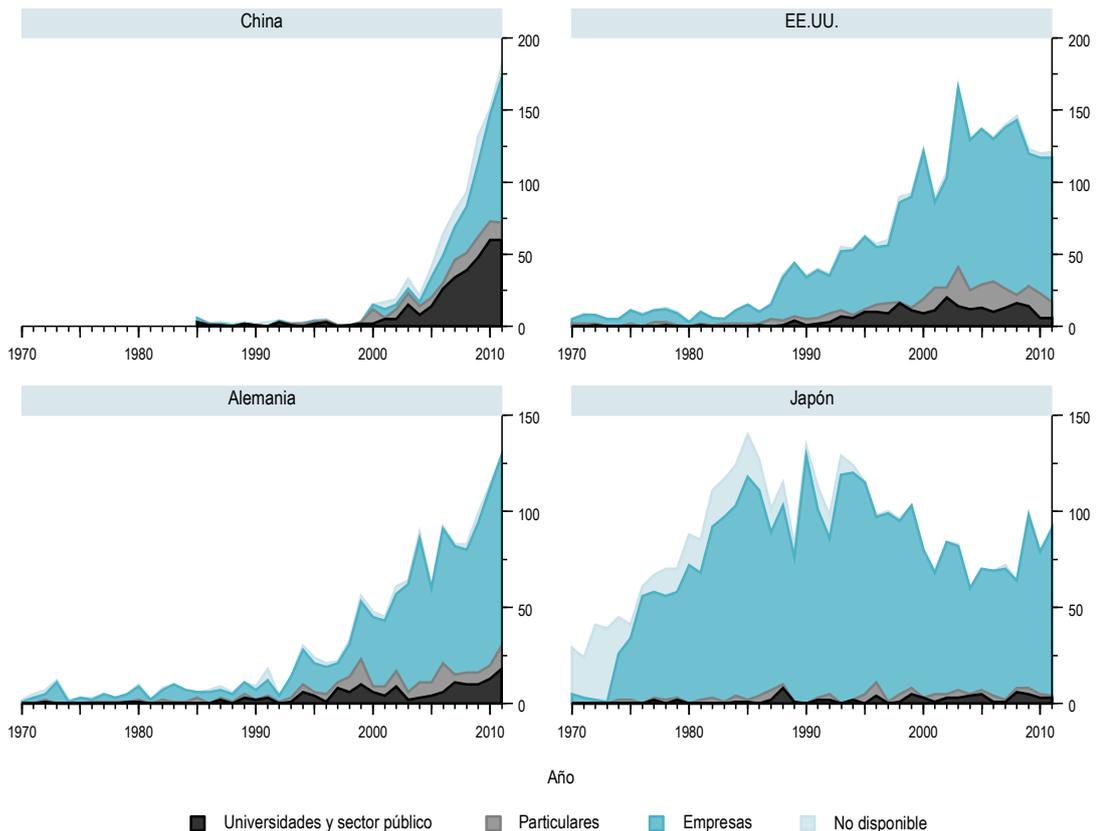
32. La iniciativa *America Makes* en el marco de la *National Network for Manufacturing Innovation* propuesta en 2012. Véase <http://americamakes.us>

33. *Innovative Manufacturing CRC* (2015)

34. Lipson y Kurman (2013) y Bechthold *et al* (2015).

Figura 3.4: Universidades y organizaciones del sector público de China solicitan un mayor porcentaje de patentes sobre impresión en 3D que aquellas de otros países líderes

Porcentaje de primeras solicitudes de patente presentadas, por tipo de solicitante, desde 1970



Fuente: OMPI a partir de datos de PATSTAT (véanse las notas técnicas).

RepRap, por ejemplo, se basa en apenas 25 contribuyentes esenciales y una amplia comunidad de apoyo que colabora con el fin de que la tecnología avance. Entre los contribuyentes y los miembros de la comunidad figuran entusiastas, primeros usuarios de tecnologías emergentes, piratas informáticos e investigadores universitarios.³⁵ Y la mayoría tiende a estar movida por necesidades personales, motivación intrínseca y por el deseo de forjarse una reputación en lugar de por la intención de obtener provecho monetario.³⁶

Además, la distinción poco clara entre productores y usuarios de sistemas de impresión en 3D para uso personal en lo que concierne al origen de la innovación refuerza la importancia de la comunidad y sus vínculos con los fabricantes. Un vínculo importante se

establece por medio de plataformas en línea. De hecho, el carácter colaborativo de la comunidad de impresión en 3D para uso personal no habría sido posible sin los avances en la innovación digital.

La infraestructura de comunicación digital – como las plataformas de comunicación, los sistemas de control de código abierto y los repositorios de programas informáticos, así como los mercados por Internet – ha facilitado el ecosistema de innovación colectiva sobre el que se basa la comunidad de impresión en 3D de código abierto.³⁷

Asimismo, esta comunidad crece a medida que más personas se conectan al mundo digital.

35. Jones *et al* (2011) y Malone y Lipson (2006)

36. Jong y Bruijn (2013)

37. Bechthold *et al* (2015) y West y Kuk (2014).

La importancia de comercializar productos y servicios complementarios

Se han creado numerosos programas informáticos de impresión en 3D para respaldar el carácter de código abierto de las impresoras tridimensionales. Se conceden licencias de todos ellos, ya sean licencias de código abierto o de derecho de autor, pero la mayoría se ofrecen gratuitamente. En muchos casos, estos programas especializados se incluyen en clientes de impresión en 3D como Repetier-Host. Otros, como Autodesk, ofrecen diversos programas informáticos de diseño de impresión en 3D gratuitos.

Además, han surgido proveedores de servicios especializados que prestan apoyo a la comunidad de impresión en 3D para uso personal. Algunos de estos proveedores permiten a los usuarios intercambiar ficheros de diseño en 3D por medio de plataformas como Thingiverse. Otros utilizan servicios centralizados de impresión en 3D para imprimir objetos en 3D y enviarlos al usuario, como es el caso de Shapeways. En 2012, Shapeways envió un millón de piezas impresas en 3D.³⁸ Y en 2014, la empresa disponía de casi 500.000 objetos en 3D y contaba con 23.000 propietarios de tiendas y diseñadores de productos en 133 países diferentes.³⁹

El éxito probado de este mercado está atrayendo a empresas establecidas que proceden de sectores relacionados. Empresas como Office Depot, Staples y UPS ofrecen actualmente servicios de impresión en 3D a modo de prueba en algunas de sus tiendas.

Y, por último, como los innovadores se han abstenido de utilizar la protección por patente para recuperar la inversión de la mayoría de los avances técnicos del mercado de la impresión en 3D para uso personal, se necesitaban nuevos mecanismos de financiación para apoyar el desarrollo en esta esfera. Diversos proyectos de impresión en 3D para uso personal se han beneficiado de plataformas de financiación colectiva como Kickstarter. M3D recaudó 3,4 millones de USD, Formlabs 2,9 millones de USD y WobbleWorks 2,3 millones de USD en Kickstarter para proyectos relacionados con la impresión en 3D.⁴⁰ Algunos de los proyectos financiados colectivamente pueden haber resultado populares en Kickstarter debido al despliegue publicitario que rodea a las tecnologías de impresión en 3D para uso personal, pero también demuestran la capacidad que tiene esta comunidad de recaudar fondos de formas originales.

3.1.3 – La impresión en 3D y el sistema de P.I.

Un sistema completo de impresión en 3D a menudo afectará a diversos derechos de P.I.: los derechos conferidos por las patentes relativos a los componentes, procedimientos y materias primas del sistema de impresión en 3D, la protección de los secretos comerciales de los procesos de fabricación en el ámbito de la impresión en 3D, la protección del derecho de autor de los programas informáticos de control, la protección del diseño de los objetos en 3D, la protección del derecho de autor de los diseños de los objetos en 3D y la protección de la marca del producto, es decir, de la impresora tridimensional.

La combinación de todos y cada uno de estos derechos de P.I. ha repercutido en el avance de la innovación en impresión en 3D, tanto en el segmento de mercado de uso industrial como en el de uso personal, y es probable que influya en innovaciones futuras. Incide en el plazo en el que los innovadores son capaces de recuperar la inversión en I+D, así como en la difusión de la innovación.

38. McKinsey Global Institute (2013).

39. Muzumdar (2014)

40. Véase www.kickstarter.com.

La P.I. posibilita los primeros avances

Los primeros inventores de tecnologías de impresión en 3D parecen haber confiado en el sistema de patentes para establecer la novedad de su invención y para afianzarlas en el mercado. Muchos de ellos fundaron empresas en base a sus invenciones patentadas y, posteriormente, las comercializaron. Por consiguiente, parece que las patentes han ayudado a los inventores a garantizarse su lugar en el mercado, y pueden haber desempeñado una función importante en el desarrollo del sector. Y aunque el mundo empresarial ha experimentado varias fusiones y adquisiciones, hoy en día siguen existiendo algunas de las empresas pioneras.

La concesión de licencias también desempeñó una función importante en la difusión de las tecnologías de impresión en 3D desde los institutos de investigación hasta el mundo empresarial, entre empresas e incluso por distintos continentes. Algunas licencias pretendían fomentar la comercialización de las invenciones, mientras que otras trataban de facilitar su uso en ámbitos de aplicación industrial más extensos.

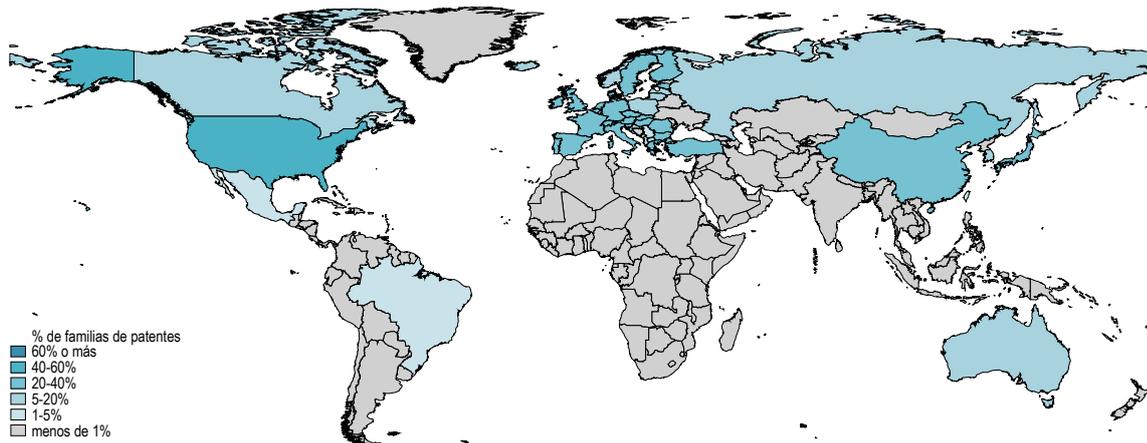
Es difícil determinar la importancia que pueden haber tenido las patentes en impedir imitaciones de la tecnología por parte de la competencia. En primer lugar, es relativamente complicado aplicar ingeniería inversa a los sistemas de impresión en 3D, tanto en los segmentos de mercado de uso industrial como en los de uso personal.⁴¹ Incluso las materias primas, que tienden a estar protegidas, a menudo se producen en unas pocas empresas especializadas que controlan su suministro, algo que, a su vez, puede sumarse al costo de imitar cualquiera de estas impresoras.

Además, desde que se concedió la primera patente en impresión en 3D, han surgido numerosas tecnologías diferentes de impresión en 3D que utilizan diversos materiales y procedimientos. La demanda de cada tipo de tecnología de impresión en 3D varía en función de las necesidades y los tipos de aplicación. Por lo tanto, no compiten directamente entre ellas, y tal vez no infrinjan las tecnologías patentadas la una de la otra.

41. Wohlers Associates (2014).

Figura 3.5: Solicitantes de patentes de impresión en 3D más propensos a buscar protección en los EE.UU.

Porcentaje de familias de patentes, en todo el mundo, para las que se ha solicitado protección en un país determinado, desde 1995



Fuente: OMPI a partir de datos de la base de datos PATSTAT (véanse las notas técnicas).

No obstante, hay elementos que parecen indicar que empresas del ámbito de la impresión en 3D están imponiendo sus invenciones patentadas en el segmento de mercado de uso industrial. Entre estas empresas figuran algunos de los actores principales del mercado como 3D Systems, DuPont, EOS, Envisontec y Stratasys.⁴²

En la figura 3.5 se ilustran los diferentes sistemas jurídicos en los que se ha solicitado protección por patente para una invención específica. Los EE.UU. reciben un porcentaje importante de solicitudes de patente en impresión en 3D; más del 60% de las solicitudes de patente se presentan allí. China y el resto de Europa también reciben un gran porcentaje de solicitudes de patente, entre el 40 y el 60%, mientras que países de ingresos medianos como la Argentina, el Brasil, Malasia y Sudáfrica reciben menos del 20%. Estas cifras indican que las invenciones patentadas en impresión en 3D están difundiéndose por países de ingresos medianos, aunque en menor medida que en los cuatro países en los que se origina el mayor número de patentes de impresión en 3D (China, el Japón, Alemania y los EE.UU.).

¿Cómo se relaciona la P.I. con un mercado de la impresión en 3D para uso personal en el que los inventores tienden a estar movidos por necesidades personales, motivación intrínseca y el deseo de forjarse una reputación en lugar de por la intención de obtener provecho monetario? La respuesta concisa es que la P.I. sigue siendo pertinente.

En primer lugar, los avances en el mercado de la impresión en 3D para uso personal no habrían sido posibles sin los primeros desarrollos en el segmento de mercado de uso industrial. Muchas de las tecnologías que se utilizan en los mercados de la impresión en 3D para uso personal son tecnologías patentadas cuya titularidad pertenece a empresas que operan en el segmento industrial. Por ejemplo, *RepRap* y otras plataformas de impresión en 3D de código abierto se basan en la técnica de modelado por deposición de hilo fundido de Scott Crump; la patente original expiró en 2009. Otra impresora tridimensional de código abierto del proyecto *Fab@Home* se basa tanto en el procedimiento de modelado por deposición de hilo fundido como en el de *estereolitografía* de Hull, cuyas patentes expiraron en 2004. La expiración de estas patentes puede ser uno de los motivos por los que el mercado de la impresión en 3D para uso personal comenzó a despegar.

42. Véase Yen-Tzu y Hsin-Ning (2014).

En segundo lugar, aunque el aumento de la aplicación de código abierto en estos procedimientos coincide con la expiración de patentes fundamentales relacionadas, las mejoras futuras en estas invenciones siguen siendo objeto de protección por medio de diversos derechos de P.I. como las patentes y/o los secretos comerciales. Por ejemplo, MakerBot –fundada en 2009 como fabricante de sistemas de impresión en 3D de código abierto para uso personal– ocultó casi todo el diseño y la fabricación de su *Replicator 2*.⁴³

En tercer lugar, los códigos abiertos que comparten los usuarios se amparan en el derecho de autor y su efecto viral para facilitar este intercambio manteniendo los programas informáticos públicos.⁴⁴

Y, finalmente, los ficheros de diseño que crean y cargan las personas pueden estar protegidos por el derecho de autor, y la estética de la impresión en 3D por los derechos que confiere un diseño industrial, por los cuales puede optar el individuo para proteger y hacer respetar su diseño.

Aumento de las tensiones entre los dos segmentos de mercado

La distinción entre los dos segmentos de mercado, a saber, la impresión en 3D para uso industrial frente a la impresión en 3D para uso personal, decae paulatinamente conforme el segmento de mercado para uso personal se vuelve más viable desde el punto de vista comercial. Por ejemplo, los actores del mercado de la impresión en 3D para uso industrial comienzan a prestar más atención al espacio del mercado para uso personal. En la Exposición de electrónica de consumo celebrada en enero de 2012, 3D Systems presentó su versión de impresora tridimensional para uso personal, llamada Cube. Posteriormente, en junio de 2013, Stratasys publicó un comunicado de prensa en el que anunciaba una fusión con MakerBot, una de las principales empresas del ámbito de la impresión en 3D para uso personal.

Recuadro 3.2: Restricción de la utilización del término “FDM” en los EE.UU.

El modelado por deposición de hilo fundido, o FDM por sus siglas en inglés, es una técnica que inventó Scott Crump a finales de la década de 1980. En 1989, la USPTO (patente N° 5.121.329 en los EE.UU.) concedió la patente de este procedimiento a Crump, que comenzó a comercializar el procedimiento a través de Stratasys, una empresa que cofundó con su esposa, Lisa Crump.

Unos 15 años más tarde, Adrian Bowyer puso en marcha el proyecto de código abierto *RepRap*, con el que desarrollaría una impresora tridimensional capaz de autorreproducirse. Esta impresora se fabricó con la técnica de impresión en 3D patentada por Crump. Algunos sostienen que Bowyer eligió este procedimiento porque resultaba relativamente fácil de construir y satisfacía sus ideales de crear una impresora tridimensional de código abierto capaz de autorreproducirse. Otros lo achacan a que pretendía que coincidiera con la expiración de la patente en 2009.⁴⁵

Avancemos rápidamente hasta la actualidad: la mayoría de plataformas de impresión en 3D de código abierto se basan en el código fuente de *RepRap* y siguen utilizando la técnica de Crump.

Aunque la patente de esta técnica ha expirado, lo que permite a los fabricantes de estas impresoras acceder al mercado sin tener que negociar una licencia con Stratasys ni hacer frente a riesgos de infracción, es posible que no se utilice la denominación “modelado por deposición de hilo fundido” para esta técnica de impresión. Esto se debe a que, el 28 de enero de 1991, Stratasys registró una marca en relación con el término “FDM” (número de serie de la marca 74133656 en los EE.UU.), por la que se limitó su uso por parte de otros fabricantes.⁴⁶ En vez de esta denominación, otros fabricantes emplean los términos “fabricación por filamento fundido”, “impresión de inyección de plástico” o, en general, “extrusión de termoplásticos” para describir este proceso concreto de impresión en 3D.⁴⁷

43. West y Kuk (2014).

44. Véase por ejemplo Nandan (2002).

45. Véase Freeman (2013).

46. El término “modelado por deposición de hilo fundido” no está registrado con marca, pero Stratasys puede acogerse al derecho de marcas de la *common law* de los EE.UU. por el cual el término está relacionado con la empresa, por consiguiente se impide su uso por terceros.

47. Banwatt (2013).

Además, hay posibles beneficios indirectos en el mercado del uso industrial cuando el segmento del uso personal prospera, y viceversa.

Esta tensión se acentúa cuando las estrategias comerciales de los dos segmentos de mercado se cruzan, particularmente cuando los actores del segmento del uso industrial entran en el espacio del mercado del uso personal, y se plantea el debate entre elegir un régimen de apropiabilidad abierto o uno cerrado.

El ecosistema de la impresión en 3D para uso personal se creó en torno a la filosofía del libre intercambio, mientras que sus homólogos industriales, para avanzar en la innovación, se basaban –y lo siguen haciendo– en tecnologías y conocimientos protegidos. Cualquier continuidad de la innovación en esta esfera puede implicar el uso de códigos abiertos que, posteriormente, tal vez se incorporen a equipos patentados y de carácter cerrado.

Las comunidades de impresión en 3D de código abierto han realizado algunos comentarios negativos con respecto a esta tensión. Y una manera que tiene la comunidad de responder a cualquier intento de patentar una invención que pueda haberse basado en el uso de código abierto es participar en los debates que abordan las solicitudes de patente, por ejemplo, por medio de la iniciativa *Peer to Patent* de la USPTO.⁴⁸ Pero, por ahora, no está claro cómo afectará esto al intercambio en el ecosistema de la impresión en 3D para uso personal.

Desafíos para el sistema de P.I. en el mercado de la impresión en 3D para uso personal

El segmento de mercado de la impresión en 3D para uso personal plantea nuevos desafíos para el sistema de P.I., sobre todo con respecto a la manera de hacer valer los derechos de P.I. existentes. Cualquier persona con acceso a una impresora tridimensional puede imprimir cualquier objeto siempre y cuando disponga de las representaciones digitales del objeto en cuestión. Por tanto, las réplicas exactas de los diseños que puedan estar protegidos por el derecho de diseños industriales o por el derecho de autor pueden reproducirse fácilmente y venderse sin permiso del titular del derecho. Este problema de infracción de un derecho de P.I. existente se agrava cuando varios

individuos participan en la producción y venta de copias ilegales con fines de lucro. De este modo, la impresión en 3D para uso personal puede plantear problemas de infracción a gran escala de los derechos de P.I. existentes por parte de usuarios de sistemas de impresión en 3D.

En este desafío subyace la tensión entre qué es legal y qué es aplicable en la práctica.

En principio, cuando un usuario imprime un objeto protegido por P.I. en tres dimensiones con su propia impresora tridimensional, o lo envía a un servicio de impresión en 3D, puede estar infringiendo varios derechos de P.I. Puede estar infringiendo el sistema de protección de diseños industriales o el derecho de autor que protege el aspecto original del objeto. Si el diseño es lo bastante distintivo como para identificar el origen del objeto y para obtener protección de la marca, entonces la impresión tridimensional no autorizada podría estar infringiendo también el derecho conferido por esa marca. Sin embargo, si una copia tridimensional no autorizada de un objeto que goza de protección constituye o no una infracción del derecho de P.I., dependerá de la escala de la impresión y de las normas que rijan las excepciones y limitaciones a los derechos de P.I. en los diferentes sistemas jurídicos.

La posible infracción a gran escala podría tener efectos muy perjudiciales para la capacidad de los titulares de derechos de P.I. de recuperar la inversión. Estas infracciones pueden bajar los precios de venta en los mercados de los titulares de derechos de P.I. y, hasta cierto punto, incluso pueden llevar a la dilución de su marca.

No obstante, numerosas cuestiones prácticas dificultan la observancia de los derechos de P.I. en el mercado del uso personal. En primer lugar, hay muchos posibles infractores y probablemente sea complicado identificar a los infractores reales. En segundo lugar, lo más probable es que los infractores sean clientes de los titulares de derechos de P.I. Estos factores conducen al problema final: hacer respetar estos derechos sería costoso y podría manchar la imagen de las empresas.

48. Clinic Staff (2013) y Samuels (2013). Con respecto a la iniciativa de la USPTO, véase Shapiro (2003).

Una manera que tienen los titulares de derechos de P.I. de hacer valer sus derechos es centrarse en los intermediarios que prestan servicios relacionados de impresión en 3D para uso personal. Sin embargo, esos intermediarios desempeñan una función importante como plataforma que facilita el uso de la impresión en 3D, y, por tanto, centrarse en ellos tendría consecuencias adversas para el crecimiento del sector. Además, se correría el riesgo de socavar el crecimiento de la innovación. Los intermediarios desempeñan muchas funciones beneficiosas para el mercado de la impresión en 3D. Posibilitan el intercambio y la distribución de contenido en el nuevo mercado, y facilitan la fabricación distribuida. Si la responsabilidad de las posibles conductas infractoras por parte de los consumidores recae en los intermediarios, se podría frenar la innovación en la distribución y fabricación de impresoras tridimensionales.

La situación nos recuerda un panorama similar con respecto al aumento de las infracciones del derecho de autor en el sector digital. Las enseñanzas extraídas de otras innovaciones digitales pueden despejar dudas sobre posibles vías de reparar la infracción de los derechos de P.I. En primer lugar, los actores del mercado de la impresión en 3D pueden plantearse cambiar sus estrategias comerciales. Por ejemplo, podrían decidir cambiar su enfoque de obtención de beneficios del mercado de la impresión en 3D al mercado secundario de suministro de materiales, con lo que podrían limitar la magnitud de las infracciones poniendo un precio lo bastante alto a sus materiales como para disuadir a los posibles infractores de derechos de P.I.

En segundo lugar, podrían plantearse aceptar la conducta de los usuarios infractores en lugar de combatirla. Algunas innovaciones de los usuarios podrían añadir un valor significativo a la invención original. La vinculación con estas comunidades de usuarios generaría bucles de realimentación entre las empresas y los consumidores, que ayudan a crear mejores productos y fortalecen la fidelidad a la marca.⁴⁹

Por último, los titulares de derechos de P.I. podrían valerse de medidas tecnológicas para proteger sus modelos comerciales existentes. Por ejemplo, podrían emplear un enfoque similar al de la gestión de derechos digitales que existe en la industria de la música mediante el control de la manera en que sus consumidores acceden a los productos de marca y los utilizan.

No obstante, hay una diferencia importante entre el mercado de la impresión en 3D para uso personal y el sector digital. La magnitud de las infracciones en el ámbito de la impresión en 3D es pequeña en comparación con la que existe en el sector digital, lo que refleja la fase naciente en la que se encuentra este mercado.⁵⁰ En particular, la adopción de la impresión en 3D para uso personal se enfrenta a numerosas restricciones. La impresión en 3D requiere acceso a una impresora tridimensional y materias primas, así como aptitudes en materia de programación informática para utilizar y manipular los ficheros de diseño asistido por computadora, factores que exigen inversiones importantes en tiempo y dinero por parte del usuario (véase la subsección 3.1.1 y el recuadro 3.1). Por el contrario, las herramientas y la inversión necesarias para descargar de Internet materiales protegidos por derecho de autor y, posteriormente, reproducirlos son menores. En la mayoría de los hogares se encuentran el equipo, los programas informáticos y las aptitudes que son necesarios para descargar y reproducir contenido protegido por derecho de autor.

49. Véase Jong y Bruijn (2013).

50. Véase Mendis *et al* (2015).

3.2 – La nanotecnología

“La nanotecnología consiste en fabricar con átomos.”

William Powell,
*nanotecnólogo jefe del Centro Goddard
de Vuelos Espaciales de la NASA*

La nanotecnología es la tecnología a escala nanométrica, la escala de átomos y moléculas. Un nanómetro es la medida que equivale a la milmillonésima parte del metro, o la longitud de aproximadamente 3-20 átomos. Las partículas de escala nanométrica no son nuevas, pero recién en las últimas décadas los científicos han sido capaces de visualizar y controlar verdaderamente los fenómenos en la nanoescala. Algunos investigadores han conseguido avances extraordinarios en ingeniería y ciencia en la nanoescala con amplias aplicaciones comerciales.

De entrada, es importante señalar que el término “nanotecnología” abarca un gran número de innovaciones. Aunque existen algunas definiciones expresas de nanotecnología, puede resultar un verdadero desafío determinar si una tecnología específica se engloba en una definición determinada.⁵¹ En el análisis que tendrá lugar a continuación se pretende sintetizar abundante bibliografía sobre nanotecnología y es necesario advertir que debe tenerse en mente la ambigüedad en cuanto a su definición.⁵²

3.2.1 – El desarrollo de la nanotecnología y su importancia económica

Como en la mayoría de los ámbitos de la innovación, la nanotecnología ha dependido de avances científicos anteriores. Los avances tecnológicos de finales del siglo XX no habrían sido posibles sin los grandes adelantos teóricos de principios del siglo XX que abarcaban los conocimientos básicos de la estructura molecular y las leyes de la mecánica cuántica que rigen las interacciones en la nanoescala. Los desarrollos básicos en física, química, biología e ingeniería

allanaron el camino para conseguir el inmenso número de aplicaciones que existen hoy en día.

Los primeros productos nanotecnológicos de consumo requerían nanoaditivos pasivos para mejorar las propiedades de los materiales de productos como raquetas de tenis, gafas y filtro solar. El ámbito de la nanotecnología también abarca muchos avances en biotecnología y medicina. El mundo biomolecular opera a nanoescala: el ADN posee un diámetro de aproximadamente dos nanómetros, y muchas proteínas tienen un tamaño de alrededor de 10 nanómetros. Los científicos han diseñado estas biomoléculas y otros nanomateriales con fines de diagnóstico y terapia biológicos, como es el caso de la administración dirigida de medicamentos para el tratamiento del cáncer.

Para hacerse una idea del alcance y el potencial de la tecnología, conviene analizar más detenidamente tres líneas de innovación en nanotecnología: microscopios electrónicos y de sonda de barrido, que son instrumentos de investigación básicos para conocer y crear dispositivos a nanoescala; fullerenos, nanotubos de carbono y grafeno, que son algunos de los materiales a nanoescala más prometedores; y la nanoelectrónica comercial, que abarca desde transistores hasta memorias magnéticas.

Instrumentos de investigación: microscopios electrónicos y de sonda de barrido

La capacidad de visualizar estructuras a nanoescala ha sido fundamental para el desarrollo de la nanotecnología. Las características de escala nanométrica no se ven ni siquiera con los microscopios ópticos más potentes, ya que son más pequeñas que la longitud de onda de la luz. Sin embargo, los electrones poseen una longitud de onda mucho menor que la de la luz visible –descubrimiento con el que el físico francés Louis de Broglie ganó el Premio Nobel en 1929– y, por tanto, se pueden emplear para captar la imagen de características mucho más pequeñas. Max Knoll y su estudiante de doctorado Ernst Ruska, de la *Technical University of Berlin*, publicaron en 1932 las imágenes tomadas con el primer microscopio electrónico de transmisión que se puso en funcionamiento. A escala comercial, los primeros microscopios electrónicos de transmisión aparecieron varios años más tarde, entre otras cosas, porque Ruska se incorporó a la empresa Siemens en 1936. En la década de 1930 surgieron otras tecnologías de microscopía electrónica, a saber, el microscopio electrónico de barrido y el microscopio electrónico

51. Por ejemplo, la Oficina de Política de Ciencia y Tecnología de los EE.UU. define ampliamente la nanotecnología como cualquier tecnología que conlleve “entender y controlar la materia en dimensiones de aproximadamente entre 1 y 100 nanómetros, donde fenómenos singulares permitan aplicaciones originales”.

52. Esta sección se basa en Ouellette (2015).

de barrido por transmisión. No obstante, no fueron objeto de producción comercial hasta décadas más tarde, siendo Cambridge Instrument Company la que vendió el primer microscopio electrónico de barrido en 1965, y la empresa británica VG Microscopes la que introdujo el primer microscopio electrónico de barrido por transmisión en 1974. Hoy en día, la mayoría de los microscopios electrónicos son capaces de conseguir una resolución espacial que se aproxime a los 0,13 nanómetros para muestras finas.

Una técnica diferente para la formación de imágenes de superficies a nanoescala es la microscopía de sonda de barrido, con la que se calcula la interacción entre una superficie y una sonda extremadamente fina que la recorre mediante un barrido, tras lo cual se producen imágenes tridimensionales de la superficie. En 1981, Gerd Binnig y Heinrich Rohrer, cuando trabajaban en IBM Zúrich, desarrollaron el primero, que se denominó microscopio de efecto túnel. Por su invención, ambos compartieron el Premio Nobel de Física en 1986, junto con Ernest Ruska por su creación del primer microscopio electrónico. En 1985, Binnig inventó un tipo diferente de microscopio de sonda de barrido –el microscopio de fuerza atómica– que desarrolló con investigadores de la *Stanford University* y de IBM. Con el microscopio de fuerza atómica, fue posible formar imágenes de materiales que no eran conductores de la electricidad. IBM es el titular de las patentes de base tanto del microscopio de efecto túnel como del microscopio de fuerza atómica. Actualmente, ambos instrumentos son herramientas de uso habitual en la investigación de materiales de escala nanométrica con resolución atómica.

Nanomateriales prometedores: los fullerenos, los nanotubos de carbono y el grafeno

Algunos de los nanomateriales más prometedores son estructuras en las que los átomos de carbono están dispuestos principalmente en hexágonos, entre las que se encuentran estructuras con formas de balón de fútbol denominadas fullerenos, cilindros denominados nanotubos de carbono y láminas denominadas grafeno.

Robert Curl, Harold Kroto y Richard Smalley descubrieron los fullerenos en 1985 en la *Rice University*, gracias a lo cual recibieron el Premio Nobel de Química en 1996. En 1990, físicos del *Max Planck Institute for Nuclear Physics* y de la *University of Arizona* descubrieron un método para producir fullerenos en grandes cantidades. Este avance dio lugar a una considerable actividad

de patentamiento relacionada con los fullerenos por parte de entidades que veían entonces oportunidades viables desde el punto de vista comercial, así como de empresas e investigadores académicos. Los fullerenos se han estado utilizando comercialmente para mejorar productos como raquetas de bádminton y cosméticos, pero sus aplicaciones más prometedoras se encuentran en la electrónica orgánica y las biociencias.

Investigadores de NEC Corporation, del Japón, e investigadores de IBM, de California, anunciaron simultáneamente en 1993 la formación de nanotubos de carbono de pared simple –cilindros con paredes hechas de una sola capa atómica de carbono.⁵³ Desde entonces, la investigación en el campo de los nanotubos de carbono se ha disparado; por ejemplo, en la Fundación Nacional de Ciencias de los EE.UU., los nanotubos fueron la segunda nanotecnología más financiada entre 2001 y 2010. Como en el caso de los fullerenos, diversos productos comerciales ya utilizan nanotubos de carbono, entre ellos los de electrónica de película delgada. Sin embargo, las aplicaciones más prometedoras –las que aprovechan las propiedades eléctricas de los nanotubos individuales– aún parecen estar muy alejadas de la fase comercial.⁵⁴

El grafeno, el nanomaterial basado en carbono de interés más reciente, ya se describía teóricamente en 1947, pero su aislamiento físico no ocurrió hasta 2004, cuando Andre Geim, Konstantin Novoselov y otros compañeros de la *University of Manchester* demostraron que podían utilizar cinta adhesiva Scotch para extraer láminas individuales de grafeno a partir de cristales de grafito. En 2010, Geim y Novoselov ganaron el Premio Nobel por su trabajo sobre el grafeno. Su gran avance científico dio lugar a una considerable actividad de patentamiento relacionada con el grafeno, aunque con pocos productos comerciales hasta ahora. El grafeno tiene aplicaciones potenciales que varían de la electrónica a la biodetección, pero sigue habiendo obstáculos importantes para su implementación. Por ejemplo, la integración del grafeno en células solares y baterías parece prometedora para mejorar la conversión y el almacenamiento de energía, pero tal avance

53. Aunque el descubrimiento de los nanotubos de carbono a menudo se atribuye al físico japonés Sumio Iijima en 1991, los científicos soviéticos L.V. Radushkevich y V.M. Lukyanovich publicaron en 1952 una imagen tomada con un microscopio electrónico de transmisión de un nanotubo de carbono de 50 nanómetros de diámetro; desde entonces, los nanotubos se han redescubierto varias veces. Véase Monthieux y Kuznetsov (2006).

54. Véase De Volder *et al* (2013)

requiere mejoras en los procesos de transferencia y fabricación de gran volumen.⁵⁵

La nanoelectrónica comercial

Aunque muchas de las posibles aplicaciones de los nanomateriales basados en carbono siguen siendo especulativas, otros avances en nanotecnología ya han tenido una repercusión importante en el mercado. La nanotecnología ha dado lugar a mejoras importantes en la electrónica comercial, a saber, en transistores y memorias magnéticas. Por ejemplo, a partir de 2010, alrededor del 60% del mercado de los semiconductores en los EE.UU., con un valor aproximado de 90 mil millones de USD, estuvo relacionado con propiedades características de la nanoescala.

La reducción constante del tamaño de los dispositivos refleja la persistencia de la “Ley de Moore”, que expresa que cada 18-24 meses se duplica el número de transistores existentes en un chip (véase la sección 2.3). Para reducir dispositivos a un tamaño inferior a los 100 nanómetros, los investigadores tuvieron que superar grandes desafíos. Por ejemplo, desarrollaron nuevos materiales a fin de proporcionar el aislamiento necesario a las compuertas del transistor para evitar las corrientes de fuga, y mejoraron las técnicas de litografía óptica con miras a permitir la creación de patrones de características de 30 nanómetros. Estos desarrollos dependían de adelantos básicos en la nanofabricación y la caracterización, y se piensa que la continua reducción de la escala requiere más avances fundamentales en las que quizás intervengan los nanotubos de carbono o el grafeno.⁵⁶

La contribución económica de la nanotecnología y su potencial de crecimiento

La nanotecnología ya ha tenido repercusión en una amplia variedad de sectores de la tecnología. Algunos observadores creen que la nanofabricación tiene potencial para transformar las economías tan profundamente como ya lo hicieron innovaciones tales como la electricidad, las computadoras e Internet. Existen posibles aplicaciones en una amplia variedad de sectores, desde vehículos eléctricos mejorados hasta terapias médicas más específicas o la pavimentación de carreteras mejorada con nanotubos que incorporen capacidades de teledetección. En principio, dada su

amplia naturaleza, la nanotecnología tiene potencial para estimular el crecimiento mediante todos los mecanismos que se señalan en la sección 1.2.

La nanotecnología también tiene potencial para mejorar el bienestar social haciendo frente a los desafíos mundiales en materia de sostenibilidad. Por ejemplo, se han producido avances importantes en el desarrollo de soluciones basadas en la nanotecnología para el tratamiento, la desalinización y la reutilización del agua. Investigadores del ámbito de la nanotecnología han mejorado la seguridad alimentaria y la bioseguridad, han producido nanocompuestos ligeros a la par que resistentes para construir vehículos de bajo consumo, han creado métodos para separar el dióxido de carbono de otros gases y han mejorado drásticamente la eficiencia de las células solares de plástico.

Es muy complicado, si no imposible, cuantificar la contribución actual a la economía – por no hablar del posible crecimiento económico en el futuro – de todos los avances en nanotecnología. Aparte de las limitaciones en la disponibilidad de datos, no queda claro cómo evaluar el valor de una invención en nanotecnología que sea un componente pequeño pero fundamental de un producto o un proceso. Por ejemplo, el tamaño de las características de los semiconductores modernos está normalmente en el rango de la nanoescala, y los mercados de los semiconductores y los componentes electrónicos en general están valorados en más de 200 mil millones de USD y 1 billón de USD, respectivamente.⁵⁷ Sin embargo, no está claro qué cantidad de estas sumas debería atribuirse a la nanotecnología.

Otro problema es decidir qué productos y servicios se engloban dentro de los límites de la nanotecnología, tal y como se ha señalado al comienzo de esta sección. En el cuadro 3.5 se presentan varias estimaciones sobre la dimensión de los mercados actuales relacionados con la nanotecnología, y se ilustra cómo las distintas definiciones dan lugar a estimaciones muy diferentes. No obstante, a partir de estas cifras, puede deducirse que la nanotecnología ya ha dejado su huella en la actividad económica.

55. Véase Bonaccorso *et al* (2015)

56. Véase Roco *et al* (2010)

57. Véase Bonaccorso *et al* (2015)

Cuadro 3.5: Diferentes estimaciones de la contribución económica de la nanotecnología

Estimación	Alcance geográfico	Definición de nanotecnología	Fuente
Ingresos de 731 mil millones de USD en 2012	Mundial	Productos que incorporan nanotecnología	Lux Research
Dimensión del mercado de 26 mil millones de USD en 2014	Mundial	Definición limitada de aplicaciones de nanotecnología	BCC Research
Dimensión del mercado de 100 mil millones de USD en 2011	Mundial	Nanomedicina	BCC Research
Valor de mercado de los productos finales de 300 mil millones de USD en 2010	Mundial	(ambigua)	Roco (2001)

3.2.2 – El ecosistema de la innovación en nanotecnología

¿En qué ecosistema prospera la nanotecnología? Como primer paso, resulta útil examinar la actividad de patentamiento en nanotecnología. Los datos sobre patentes, aunque no reflejan exactamente el panorama de la innovación, facilitan abundante información acerca de algunos de los actores fundamentales de la innovación, sobre todo de aquellos implicados en el desarrollo de tecnologías con potencial comercial. Para complementar esta idea, se describirán luego algunos de los principales programas públicos de apoyo a la I+D en el campo de la nanotecnología, se presentará información sobre los actores principales en materia de I+D y se analizará cómo fluye el conocimiento a través del ecosistema de la innovación en nanotecnología.

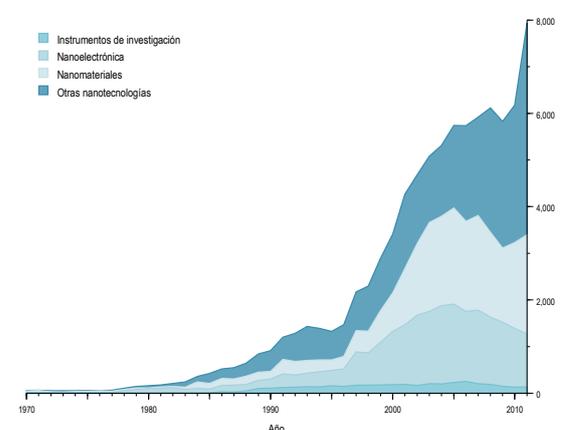
Análisis de la actividad de patentamiento

Sobre la base del análisis de la actividad de patentamiento elaborado para este informe, en la figura 3.6 se representa el número de primeras solicitudes de patente presentadas en todo el mundo en nanotecnología desde 1970 hasta 2011.⁵⁸ Las primeras solicitudes de patente presentadas son la medida estadística que más se aproxima al concepto de invenciones únicas. En la figura se ilustra el rápido crecimiento en la actividad de patentamiento en nanotecnología; desde 1995, el patentamiento ha aumentado de media un 11,8% al año. Las tres áreas de la innovación en nanotecnología que se han abordado en la subsección anterior acapararon la mayor parte de la actividad de patentamiento durante este período. Aun así, resulta interesante que el patentamiento en esas áreas alcanzara su máximo en 2004 y que otras aplicaciones en el campo de la nanotecnología hayan experimentado desde entonces un rápido crecimiento en la actividad de patentamiento.

58. Los últimos datos de que se dispone corresponden a 2011, ya que las solicitudes de patente se publican con retraso. Véanse las notas técnicas de este informe para obtener una descripción de la metodología empleada para realizar el análisis de la actividad de patentamiento en nanotecnología.

Figura 3.6: Crecimiento pronunciado en la actividad de patentamiento en nanotecnología, especialmente desde mediados de la década de 1990

Primeras solicitudes de patente presentadas, por área de la nanotecnología, 1970-2011



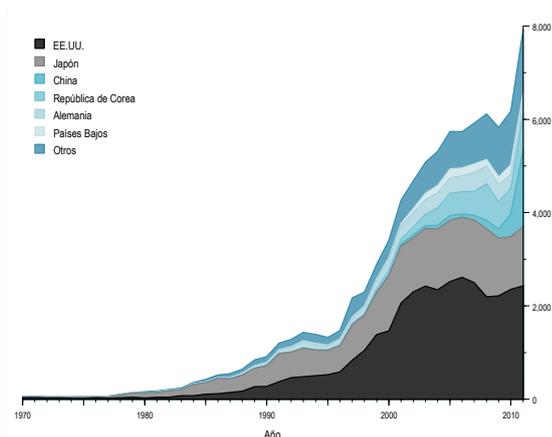
Fuente: OMPI a partir de datos de PATSTAT (véanse las notas técnicas).

En la figura 3.7 se muestran las mismas solicitudes de patente presentadas que en la figura 3.6, pero se ofrece un desglose por origen de los solicitantes de patentes. En la ilustración se aprecia una diversidad geográfica cada vez mayor. Hasta finales de la década de 1990, los residentes de los EE.UU. y el Japón acaparaban la mayoría de las solicitudes de patente presentadas en nanotecnología, pero, desde entonces, otros orígenes han cobrado importancia. Cabe destacar especialmente el aumento del patentamiento en la República de Corea a principios de la década de 2000 y, aún más recientemente, en China. Es interesante observar que, aunque los innovadores de la República de Corea han presentado solicitudes de patente en las áreas de los nanomateriales y la nanoelectrónica, los de China se han centrado prácticamente por completo en aplicaciones en nanotecnología que no pertenecen a las tres áreas abordadas en la subsección anterior.⁵⁹ Desde

59. En particular, el 69% de las solicitudes de patente de nanotecnología de origen chino entre 1995 y 2011 se engloban dentro de la categoría "Otros", en comparación con el 37% del Japón, el 44% de la República de Corea y el 38% de los EE.UU.

Figura 3.7: Aumenta la diversidad geográfica con respecto a la innovación en nanotecnología

Primeras solicitudes de patente presentadas, por origen, 1970-2011



Fuente: OMPI a partir de datos de PATSTAT (véanse las notas técnicas).

mediados de la década de 2000, la actividad de patentamiento en nanotecnología en los EE.UU. y el Japón no solo ha disminuido en comparación con otros orígenes, sino que también ha descendido en términos absolutos.

En la figura 3.8 se ofrece un panorama mundial completo de la actividad de patentamiento en nanotecnología. Además de los países mencionados anteriormente, algunos otros países de ingresos medianos – en particular el Brasil, la India, México y Sudáfrica – muestran algún nivel de actividad de patentamiento, aunque los números globales sean considerablemente inferiores a los de los principales orígenes de la actividad de patentamiento.

Finalmente, resulta interesante preguntarse por la importancia que tienen las patentes solicitadas por las universidades en nanotecnología. En la figura 3.9 se representa la contribución de diferentes tipos de solicitantes a la actividad general de patentamiento desde 1970. Al reflejar los orígenes científicos de la nanotecnología, cabría esperar que el porcentaje de solicitudes de patente presentadas por empresas aumentara con el paso del tiempo. No obstante, la situación es más bien la contraria. El porcentaje de patentes solicitadas por las universidades aumentó del 8,6% en 1980 al 16,1% en 2000, y alcanzó el 40,5% en 2011, el porcentaje de patentes solicitadas por las universidades más alto entre las innovaciones revolucionarias que se examinan en este informe. Sin embargo, hay diferencias importantes en cuanto a los orígenes. Aunque ha aumentado en la mayoría de los

países, el porcentaje de patentes solicitadas por las universidades ha promediado el 8,2% en el caso de solicitantes del Japón, el 19,3% en los solicitantes de Alemania, el 26,9% en los solicitantes de los EE.UU., el 35,6% en el caso de solicitantes de la República de Corea y el 73,0% en los solicitantes de China.⁶⁰ De hecho, el predominio de las universidades entre los solicitantes de patentes en China explica en gran medida el considerable aumento en el porcentaje global de patentes solicitadas por las universidades desde mediados de la década de 2000 (véase la figura 3.9). Tal vez también explique el diferente enfoque tecnológico en relación con las solicitudes de patente en China, cuestión que se ha examinado anteriormente.

Programas públicos de apoyo

Los gobiernos apoyan la innovación en nanotecnología por medio de diversos mecanismos, entre los que figuran el gasto directo en I+D mediante subvenciones y contratos de adquisiciones, los premios a la innovación y los incentivos fiscales a la I+D. No resulta fácil cuantificar la importancia de estos mecanismos. Las fuentes de datos disponibles a menudo no recogen la parte de los programas públicos de apoyo destinada específicamente a la nanotecnología, sobre todo en el caso de programas neutros desde el punto de vista tecnológico como los créditos fiscales a la inversión en I+D. Las diversas definiciones de nanotecnología y el hecho de que algunos programas se apliquen a nivel estatal complican aún más la tarea de cuantificación. Teniendo en mente estas limitaciones, los datos disponibles señalan lo siguiente:

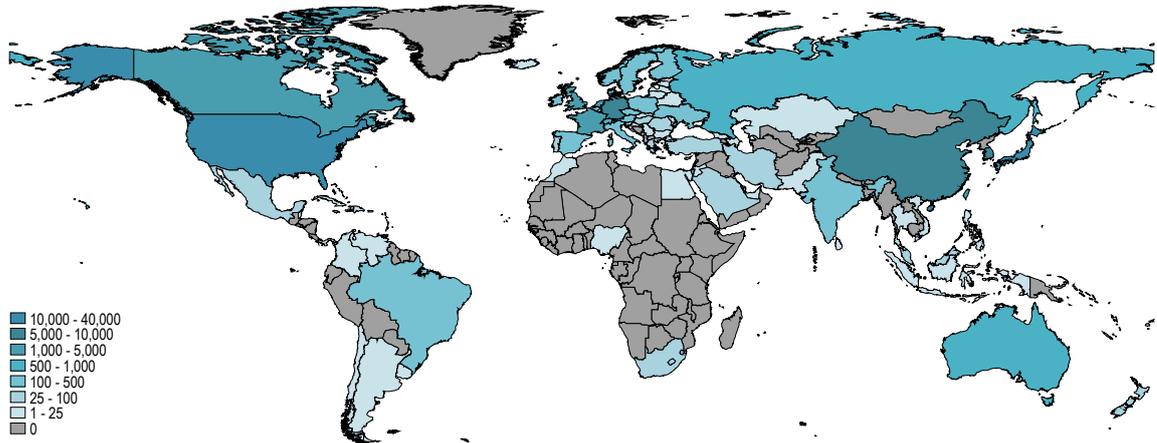
- La mayoría del apoyo público destinado específicamente a la nanotecnología adopta la forma de subvenciones directas, tanto para la investigación básica como para la fase temprana de comercialización. Más de 60 países crearon programas nacionales de I+D en nanotecnología entre 2001 y 2004. El primero de esos programas, y el de mayor alcance, es la *National Nanotechnology Initiative* de los EE.UU., que ha proporcionado casi 20 mil millones de USD en ayudas desde el año 2000 por medio de diferentes organismos federales.⁶¹

60. Estos porcentajes hacen referencia al total de las primeras solicitudes de patente presentadas entre 1990 y 2011.

61. Véase Ouellette (2015).

Figura 3.8: La geografía completa de la innovación en nanotecnología

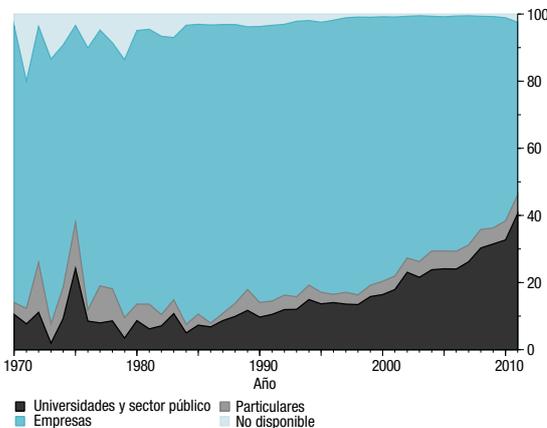
Primeras solicitudes de patente presentadas, por origen, desde 1970



Fuente: OMPI a partir de datos de PATSTAT (véanse las notas técnicas).

Figura 3.9: Las universidades cobran importancia en la actividad de patentamiento

Porcentaje de primeras solicitudes de patente presentadas, por tipo de solicitante, 1970-2011



Fuente: OMPI a partir de datos de PATSTAT (véanse las notas técnicas).

- Las estimaciones indican que el gasto de los gobiernos de todo el mundo en I+D en nanotecnología alcanzó los 7,9 mil millones de USD en 2012, encabezado por los EE.UU. y la UE con alrededor de 2,1 mil millones de USD de gasto cada uno.⁶² A continuación figuraban el Japón con 1,3 mil millones de USD, Rusia con 974 millones de USD y China y la República de Corea con un poco menos de 500 millones de USD cada uno. Entre otros países de ingresos medianos que vieron

incrementado considerablemente el gasto gubernamental en nanotecnología figuran el Brasil y la India.

- Los incentivos fiscales a la I+D son más difíciles de calcular pero no son menos importantes, dado que cada año se gastan decenas de miles de millones de USD en dichos incentivos en todo el mundo, algo que redundaría en beneficio de la I+D en nanotecnología.⁶³
- Los premios a la innovación no constituyen un instrumento de política muy importante para la nanotecnología. No obstante, existen premios de entidades privadas sin fines de lucro y hay propuestas para crear un premio federal de nanotecnología en los EE.UU.⁶⁴

Los protagonistas de la I+D en nanotecnología

El ecosistema de la innovación en nanotecnología se compone de diversos actores, entre los que figuran laboratorios gubernamentales, universidades y otras instituciones de investigación sin fines de lucro, grandes empresas y pequeñas empresas emergentes. También existen inversores de capital de riesgo y otros intermediarios que han surgido para ayudar a facilitar capital y propiciar los flujos de conocimiento entre esos actores.

62. En el caso de la UE, esto engloba tanto el gasto de los gobiernos nacionales como el de la Comisión Europea. Véase Lux Research Inc. (2014).

63. Véase OCDE (2011)

64. Véase Hemel y Ouellette (2013).

Como se ha descrito anteriormente, los propios gobiernos son protagonistas fundamentales en el ecosistema de la nanotecnología. Los gobiernos llevan a cabo una gran labor de I+D por medio de laboratorios nacionales y universidades de financiación estatal. Las universidades privadas y otras instituciones de investigación sin fines de lucro también son actores muy importantes, que normalmente operan mediante subvenciones del gobierno. Dado que se publican abundantes trabajos de investigación universitaria, una manera de reconocer las principales instituciones de investigación en nanotecnología es examinar el número total de publicaciones. En el cuadro 3.6 se recogen estos datos, basándose en los recuentos de publicaciones que figuran en Web of Science, una de las bases de datos más exhaustivas de indexación de publicaciones científicas.⁶⁵ Con fines comparativos, también se presenta el número de primeras solicitudes de patente presentadas por esas instituciones. Las instituciones con mayor número de publicaciones en nanotecnología son las academias de ciencias de China y Rusia, el *Centre National de la Recherche Scientifique* de Francia y tres universidades del Japón. Cada una de las 20 principales instituciones científicas también presenta solicitudes de patente de invenciones en nanotecnología. Sin embargo, los resultados de publicaciones y patentes no muestran una correlación clara – probablemente debido a diferencias en las estrategias institucionales y en las políticas de patentamiento.

Cuadro 3.6: Las 20 principales instituciones de investigación en nanotecnología, desde 1970

Institución de investigación	País	Número de publicaciones científicas	Número de primeras solicitudes de patente presentadas
<i>Chinese Academy of Sciences</i>	China	29 591	705*
<i>Russian Academy of Sciences</i>	Rusia	12 543	38*
<i>Centre national de la recherche scientifique</i>	Francia	8 105	238
<i>University of Tokyo</i>	Japón	6 932	72
<i>Osaka University</i>	Japón	6 613	44
<i>Tohoku University</i>	Japón	6 266	63
<i>University of California, Berkeley</i>	EE.UU.	5 936	1 055†
Consejo Superior de Investigaciones Científicas	España	5 585	77
<i>University of Illinois</i>	EE.UU.	5 580	187
MIT	EE.UU.	5 567	612
<i>National University of Singapore</i>	Singapur	5 535	75
<i>University of Science and Technology of China</i>	China	5 527	n.d.
<i>Peking University</i>	China	5 294	247
<i>Indian Institute of Technology</i>	India	5 123	14
<i>University of Cambridge</i>	Reino Unido	5 040	43
<i>Nanjing University</i>	China	5 035	95
<i>Zhejiang University</i>	China	4 836	191
<i>Seoul National University</i>	República de Corea	4 831	163
<i>Consiglio Nazionale delle Ricerche</i>	Italia	4 679	17
<i>Kyoto University</i>	Japón	4 540	95

*Refleja el resultado de publicaciones y patentes de todas las instituciones que pertenecen a la respectiva academia.

†Primeras solicitudes de patente presentadas relacionadas con el sistema de la Universidad de California en su totalidad.

Fuente: Chen *et al* (2013) y OMPI a partir de datos de PATSTAT (véanse las notas técnicas).

Empresas de todos los tamaños participan en la inversión en I+D en nanotecnología. Una estimación indica que el gasto de las empresas de todo el mundo en I+D en nanotecnología ascendió a los 10 mil millones de USD en 2012. Esta cifra es superior a la estimación de gasto de los gobiernos de todo el mundo en I+D en nanotecnología (véase más arriba), lo que atestigua la viabilidad comercial de la nanotecnología. Los países con los mayores inversores empresariales en I+D fueron los EE.UU., el Japón y Alemania, cuyas empresas gastaron entre todas 7 mil millones de USD en 2012.⁶⁶

65. Las metodologías para realizar el análisis de las publicaciones sobre nanotecnología y las solicitudes de patente presentadas en dicho ámbito son distintas (véanse Chen *et al* [2013] y las notas técnicas). No obstante, los dos parámetros aún deberían poder compararse ampliamente.

66. Todas las estimaciones en materia de I+D corresponden a Lux Research Inc. (2014).

Cuadro 3.7: Los 20 principales solicitantes de patentes, desde 1970

Nombre del solicitante	País de origen	Número de primeras solicitudes de patente presentadas
Samsung Electronics	República de Corea	2 578
Nippon Steel & Sumitomo Metal	Japón	1 490
IBM	EE.UU.	1 360
Toshiba	Japón	1 298
Canon	Japón	1 162
Hitachi	Japón	1 100
University of California	EE.UU.	1 055
Panasonic	Japón	1 047
Hewlett Packard	EE.UU.	880
TDK	Japón	839
Du Pont	EE.UU.	833
Sony	Japón	833
Fujifilm	Japón	815
Toyota	Japón	783
Honeywell	EE.UU.	773
Chinese Academy of Sciences	China	705
Tsinghua University	China	681
Fujitsu	Japón	673
MIT	EE.UU.	612
Western Digital	EE.UU.	568

Fuente: OMPI a partir de datos de PATSTAT (véanse las notas técnicas).

En el cuadro 3.7 se enumeran los 20 principales solicitantes de patentes de nanotecnología, los cuales, en su mayoría, son empresas. Estos solicitantes representan el 22,8% del total de las primeras solicitudes de patente presentadas que se identifican en el análisis de la actividad de patentamiento de este informe. Los solicitantes de Asia Oriental dominan esta lista – con 10 empresas del Japón, Samsung Electronics, la *Tsinghua University* y la *Chinese Academy of Sciences* –; los principales solicitantes restantes son todos de los EE.UU. Aunque todas las empresas que figuran entre los 20 principales solicitantes son corporaciones multinacionales bien consolidadas, los datos de los EE.UU. indican que el porcentaje de solicitudes de patente presentadas por pequeñas empresas ha aumentado con el paso del tiempo.⁶⁷ Además, en la lista de solicitantes de patentes que figura en el cuadro 3.7 predominan las empresas centradas en la nanoelectrónica. Para otras aplicaciones del ámbito de la nanotecnología, tal vez sean más importantes los nuevos participantes en el mercado.

Vínculos y flujos de conocimiento

¿Qué mecanismos vinculan a los distintos actores de la innovación en nanotecnología y cómo fluye el

conocimiento entre ellos? Los acuerdos de concesión de licencias conforme a las normas ocupan un lugar importante, pero una cantidad considerable de transferencias se produce por cauces más informales. En un estudio sobre el sector de la nanotecnología en los EE.UU. se concluye que “el mecanismo más extendido para la transferencia de tecnología es la publicación y presentación de conclusiones técnicas en conferencias, talleres, guías tutoriales, seminarios web y demás”.⁶⁸ Las sociedades académicas y profesionales desempeñan una función importante en lo que respecta a facilitar estas interacciones.

Aunque la innovación en nanotecnología a veces sigue una progresión ordenada que va de la investigación académica y el desarrollo empresarial hasta la comercialización del producto, también son comunes los recorridos “no lineales”. El capital de riesgo puede ser un puente entre las universidades y las empresas, pero la inversión mundial de capital de riesgo en nanotecnología fue tan solo de 580 millones de USD en 2012, lo que supone únicamente el 3% de la financiación total de 7,9 mil millones de USD invertida por los gobiernos más 10 mil millones de USD por parte de las empresas.⁶⁹ En otras palabras, los gobiernos y las empresas con abundante liquidez desempeñan una función más decisiva en lo que respecta a facilitar el desarrollo de la nanotecnología.

Una manera importante que tienen los gobiernos de facilitar la transferencia de tecnología es proporcionar una infraestructura esencial de nanotecnología que puedan utilizar diversos actores. La I+D en nanotecnología tiende a ser de gran densidad de capital, ya que la investigación a menudo requiere salas limpias que albergan caros instrumentos de medición y fabricación como los microscopios especializados que se describen en la subsección 3.2.1. Por ejemplo, la Fundación Nacional de Ciencias de los EE.UU. ha financiado 14 instalaciones en universidades estadounidenses, formando así la *National Nanotechnology Infrastructure Network*.⁷⁰ Miembros de la red han prestado ayuda en la fabricación y caracterización a nanoescala a todos los usuarios capacitados, empresas incluidas.

68. Véase *National Research Council* (2013)

69. Véase *Lux Research Inc.* (2014)

70. Véase www.nnin.org/about-us; que será reemplazada por la *National Nanotechnology Coordinated Infrastructure*.

67. Véase Fernández-Ribas (2010)

Los gobiernos también utilizan subvenciones directas para contribuir a la transferencia de tecnología de la universidad al mundo empresarial, mediante la financiación de empresas emergentes que pretendan comercializar nanotecnología. Existen programas relevantes, por ejemplo, en los EE.UU., Alemania, Francia y China.⁷¹ Esta financiación directa ayuda a reducir los riesgos que corren las nuevas empresas al entrar en el mercado y mejora su viabilidad comercial.

A su vez, las grandes empresas han estado contribuyendo activamente a comercializar productos de nanotecnología, por ejemplo mediante la financiación de investigaciones académicas y por medio de colaboraciones con empresas más pequeñas. En un estudio sobre innovación mundial en nanotecnología se concluyó que, en general, “[l]as grandes empresas desempeñan un papel fundamental en la coproducción y la transferencia de conocimientos de nanotecnología actuando como un eje de crucial importancia que vincula directamente la red de copatentamiento del mundo empresarial con la investigación pública”.⁷²

Existen diferentes canales para que el conocimiento fluya entre países, incluso para la difusión de la nanotecnología en países de ingresos bajos y medianos. Entre las aplicaciones de nanotecnología que suscitan particular interés en las economías más pobres se encuentran el almacenamiento de energía, mejoras en la productividad agrícola, el tratamiento del agua y tecnologías sanitarias. Unos 60 países contribuyen activamente a la I+D en nanotecnología, y distintos países han participado en conferencias sobre nanotecnología, e incluso celebrado alguna. La difusión internacional tiene lugar por medio de acuerdos formales de colaboración, como el consorcio del *International Center for Nanotechnology and Advanced Materials* en el que participan universidades de los EE.UU. y México. La nanotecnología también se difunde por medio de la migración cualificada. Por ejemplo, los nanocientíficos de los EE.UU. han nacido en su inmensa mayoría en el extranjero, y países como China y la India han establecido políticas para “invertir el proceso de fuga de cerebros” a fin de estimular la migración de retorno de sus ciudadanos. La función que desempeña la inversión extranjera directa en cuanto a facilitar la difusión de la nanotecnología es menos clara. Por ejemplo, en un estudio se determina que, aunque China ha sido un destino popular de la inversión extranjera directa en general, provincias con mayor inversión

extranjera directa no parecen generar más patentes de nanotecnología; en lugar de eso, el desarrollo de la nanotecnología en China parece estar impulsado por las inversiones del sector público.⁷³

3.2.3 – La nanotecnología y el sistema de P.I.

En el análisis anterior se describe cómo los diferentes actores del ámbito de la nanotecnología se han valido del sistema de patentes para proteger los frutos de su actividad innovadora. En esta subsección se examina con más detenimiento la función que desempeña el sistema de P.I. en nanotecnología. Primero se analizan la importancia que tienen las patentes para recuperar la inversión en I+D y la manera en que los innovadores protegen sus patentes en el plano internacional. A continuación se evalúa la importancia de la función de divulgación de las patentes, se reflexiona sobre si la titularidad de las patentes puede ralentizar la innovación acumulativa y se analizan los posibles límites en el ámbito de patentabilidad. Por último, se ofrece una perspectiva sucinta sobre la función de los secretos comerciales en la innovación en nanotecnología.⁷⁴

Estrategias de patentamiento

Tal y como se describe en el capítulo 1, la importancia de las patentes para recuperar la inversión en I+D varía entre sectores. En algunos sectores – en particular el farmacéutico y el químico – las patentes desempeñan una función esencial a la hora de ofrecer a las empresas una ventaja competitiva. En otros – en concreto en muchos ámbitos de las TIC – son fundamentales el plazo total de ejecución, el desarrollo de marcas y otros mecanismos. Aunque las patentes tal vez sigan desempeñando una función importante de recuperación de la inversión en tales sectores – al menos en relación con determinadas tecnologías fundamentales –, las empresas presentan solicitudes de patente, en parte, para garantizar su libertad de acción y para conceder licencias de sus tecnologías a otros.

73. Véase Huang y Wu (2012)

74. Las marcas son importantes para proteger la ventaja de ser el primero en innovar, y se ha planteado la cuestión de si la utilización de “nano” como prefijo debería regularse con arreglo a las doctrinas de carácter engañoso de una marca. Además, el arte creativo a nanoescala puede plantear cuestiones en relación con la legislación de derecho de autor. No obstante, estas formas de P.I. no se examinan más a fondo en el presente estudio.

71. Véase Ouellette (2015)

72. Véase Genet et al (2012)

No se dispone de datos que aclaren la función que tienen las patentes en cuanto a recuperar la inversión en I+D relacionada específicamente con la nanotecnología. Sin embargo, dado el carácter intersectorial de la innovación en nanotecnología, es probable que no exista un patrón general y, por tanto, la función de las patentes dependerá del sector de aplicación. Por ejemplo, las patentes del ámbito de la nanotecnología relacionadas con la biotecnología y la química tal vez puedan desempeñar una función de recuperación de la inversión más importante que las patentes del campo de la nanoelectrónica.

El uso estratégico de las patentes también afecta de manera importante a la medida en que los innovadores en nanotecnología solicitan protección por patente fuera de sus mercados nacionales. En la figura 3.10 se ilustran los lugares donde los solicitantes de patentes han solicitado protección por patente para sus invenciones. Se representa el porcentaje, en todo el mundo, de familias de patentes del ámbito de la nanotecnología para las que los solicitantes han pedido protección. Como se puede observar, los EE.UU. son el destino más frecuente de las solicitudes de patente; los solicitantes que solicitan protección en ese país representan el 85% de las primeras solicitudes de patente presentadas en todo el mundo. El Japón, Alemania, el Reino Unido y Francia figuran a continuación, con porcentajes de entre el 37 y el 52%. De media, una primera solicitud de patente presentada respecto de una invención en nanotecnología conlleva aproximadamente tres solicitudes de patente posteriores relativas a la misma invención.⁷⁵ Excepto en el caso de China, Turquía y varios países de Europa Oriental, el porcentaje de destino de países de ingresos bajos y medianos se encuentra por debajo del 5%.⁷⁶

A partir del análisis mundial de la actividad de patentamiento, surgen varias conclusiones que llaman a la reflexión. En primer lugar, aunque muchas solicitudes de patente en nanotecnología tengan alcance mundial, los innovadores solicitan protección por patente principalmente en un número limitado de países de ingresos altos. Por un lado, esto indica que las empresas cuentan con otros medios para recuperar la inversión en I+D, tal y como se ha descrito anteriormente. Por otro lado, da a entender que los innovadores no ven un gran riesgo en que su tecnología se imite en países con una capacidad tecnológica más limitada. En segundo lugar, desde el punto de vista de la mayoría de los países de ingresos bajos y medianos, es poco probable que la titularidad de la patente represente un obstáculo importante a la difusión de estas tecnologías.⁷⁷ A su vez, el interés limitado en el patentamiento indica que tal vez existan otros obstáculos a una adopción mayor de nanotecnologías en esos países.

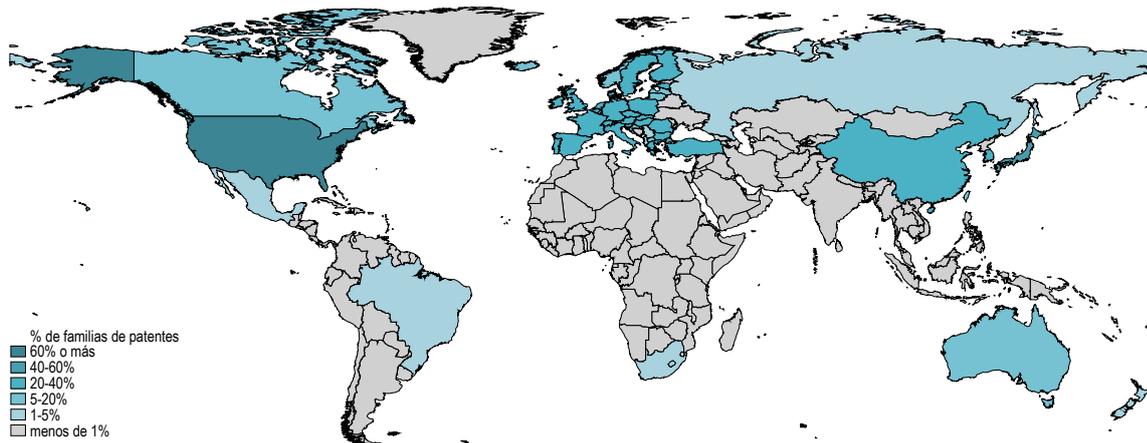
75. Esta cifra hace referencia a las patentes de nanotecnología presentadas desde 1995.

76. Los porcentajes de destino relativamente altos de Turquía y países de Europa Oriental – todos los cuales son miembros del Convenio sobre la Patente Europea – probablemente reflejen las solicitudes de patente presentadas en la Oficina Europea de Patentes, muchas de las cuales tienen escasa probabilidad de verse sometidas a un proceso de validación nacional en los países en cuestión.

77. Aquí hay dos salvedades. En primer lugar, aunque los porcentajes de destinos generales sean bajos, podría darse el caso de que los solicitantes soliciten protección para las solicitudes de patente más importantes desde el punto de vista comercial en países de ingresos bajos y medianos. En segundo lugar, la base de datos PATSTAT de que se sirve la figura 3.10 no abarca todos los países de ingresos bajos y medianos, por eso el cálculo del porcentaje de destino de esos países es menor del que corresponde.

Figura 3.10: Los solicitantes de patentes de nanotecnología solicitan protección principalmente en países de ingresos altos

Porcentaje de familias de patentes, en todo el mundo, para las que se ha solicitado protección en un país determinado, desde 1995



Fuente: OMPI a partir de datos de PATSTAT (véanse las notas técnicas).

Divulgación mediante las patentes

Aunque la divulgación ha sido una característica esencial del sistema de patentes desde su comienzo, son limitados los datos que indican en qué medida contribuye aquella a la difusión del conocimiento y a la continuidad de la innovación. En realidad, algunos estudiosos dudan de que los científicos lean las patentes, que a menudo se ven como documentos legalistas redactados por abogados. Sin embargo, en un estudio que incorporaba una encuesta realizada a investigadores del ámbito de la nanotecnología se determinó que un número importante de ellos encontraba útil la información técnica que figuraba en las patentes.⁷⁸ De 211 investigadores – principalmente ubicados en los EE.UU. –, el 64% indicó que había leído patentes, y el 60% de aquellos que habían leído patentes por razones científicas en lugar de jurídicas afirmó que encontró útil la información técnica que incorporaban. Los encuestados respondieron que las patentes pueden indicar “cómo funciona un dispositivo concreto”; pueden “contextualizar las ideas y la investigación y ofrecer [...] algunas perspectivas verosímiles en relación con” la propia investigación de los encuestados; y pueden evitar que los investigadores “recorran caminos que ya han recorrido otros”.

Aunque esta encuesta señala el valor de la divulgación de las patentes, también demuestra que podría mejorarse la función de divulgación de las patentes. En particular, el 36% de los encuestados nunca había leído patentes, y el 40% de los que las habían leído en busca de información técnica no encontró nada útil. Las cuatro quejas principales fueron que las patentes están redactadas de manera poco clara; que no son fiables dado que, al contrario de los artículos de publicaciones científicas, no se enfrentan a un examen crítico; que copian a los artículos de publicaciones; y que están desfasadas. Además, el 62% de los lectores que habían leído una patente pensaba que no proporcionaba la divulgación suficiente como para que un investigador del ámbito de la nanotecnología pudiera recrear la invención sin información adicional.

Por consiguiente, en el estudio se realizan varias recomendaciones para mejorar la función de divulgación de las patentes de nanotecnología: los requisitos de divulgación existentes deben aplicarse de forma más estricta; las patentes deben publicarse con anterioridad – especialmente en el caso de los titulares de patentes que tengan poca necesidad de mantenerlas en secreto; el acceso a la literatura de patentes ha de mejorarse por medio de herramientas de búsqueda y anotación; y deben generarse incentivos para citar patentes en publicaciones científicas.

78. Véase Ouellette (2015)

La innovación acumulativa y las marañas de patentes

Como la mayor parte de la actividad innovadora, la innovación en nanotecnología es acumulativa por naturaleza, con nuevas invenciones que normalmente se basan en otras anteriores. Esto plantea la cuestión de si los derechos conferidos por las patentes pueden ralentizar o incluso impedir la innovación acumulativa – una preocupación que se suscita en otras tecnologías.⁷⁹

En un estudio jurídico sobre el patentamiento en nanotecnología se argumenta que la nanotecnología ha diferido de muchos otros campos importantes de la invención durante el último siglo en el sentido de que muchas de las invenciones fundacionales se han patentado desde el principio.⁸⁰ Otros analistas han planteado preocupaciones con respecto a la posible existencia de marañas de patentes de nanotecnología.⁸¹ En la medida en que las actividades de patentamiento se fragmenten y se superpongan demasiado, pueden obstaculizar la innovación conforme aumenten los costos de transacción de las negociaciones y el riesgo de que se exijan regalías abusivas para el uso de las patentes. En un estudio se atribuye la superposición de los derechos conferidos por las patentes al esfuerzo que tienen que realizar las oficinas de patentes para ocuparse de esta nueva tecnología interdisciplinaria, la cual no encaja perfectamente en los sistemas de clasificación de patentes existentes.⁸² No obstante, a pesar de estas preocupaciones y el rápido crecimiento de la actividad de patentamiento desde la década de 1990 (véase la figura 3.6), se dispone de pocos datos fehacientes que demuestren problemas reales de existencia de marañas de patentes hasta ahora. Esto puede deberse a que el mercado de los productos de nanotecnología sigue siendo demasiado joven para que aflore ese tipo de problemas, o tal vez sea un signo de que los mercados de concesión de licencias de nanotecnologías han sido más eficaces de lo que se había previsto.⁸³

79. Véase en OMPI (2011) un análisis más detallado de la manera en que las patentes afectan a los procesos de innovación acumulativa.

80. Véase Lemley (2005). Argumenta que los aviones (entre 1903 y 1917) y la radio (entre 1912 y 1929) fueron las últimas tecnologías emergentes en las que se patentaron las ideas básicas.

81. Véase, por ejemplo, Sabety (2004), Bawa (2007) y Sylvester y Bowman (2011).

82. Véase Bawa (2004).

83. Véase Ouellette (2015).

Asimismo, aunque se han producido algunos litigios de patentes de nanotecnologías en sistemas jurídicos fundamentales como el de los EE.UU., los litigios en este campo no llaman la atención en comparación con los de ámbitos más generales. De manera similar, los datos indican que la actividad de patentamiento en nanotecnología puede afrontar problemas como la ralentización en la concesión de patentes y la existencia de un gran número de solicitudes difíciles de buscar, pero estos problemas repercuten en el sistema de patentes en general, y no son solo específicos del patentamiento en nanotecnología.⁸⁴

Alcance de la patentabilidad

Las nuevas tecnologías a menudo plantean preguntas acerca de qué tipo de reivindicaciones relativas a la actividad inventiva reunirían las condiciones para solicitar la protección por patente. El derecho internacional por lo general exige que puedan obtenerse patentes para “todas las invenciones [...] en todos los campos de la tecnología”.⁸⁵ Sin embargo, permite excepciones que podrían abarcar algunas invenciones en nanotecnología, entre ellas los métodos de diagnóstico médico y las invenciones que pudieran poner en peligro la salud o el medio ambiente. Además, algunos países han introducido ciertos límites que pueden excluir de la patentabilidad determinadas innovaciones en nanotecnología.

Es importante señalar que el Tribunal Supremo de los EE.UU. ha decidido recientemente que cualquier “producto de la naturaleza”, por ejemplo, el ADN genómico, así como cualquier “ley de la naturaleza”, como un método para calcular la dosis adecuada de un medicamento, pueden quedar excluidos de la patentabilidad.⁸⁶ Estas decisiones plantean cuestiones acerca de la validez de numerosas patentes de nanotecnología otorgadas en los EE.UU.⁸⁷ Muchos nanomateriales existen en la naturaleza; por ejemplo, las nanopartículas basadas en el carbono se producen por medio de llamas de velas corrientes, y el grafeno se fabrica simplemente al escribir con un lápiz. No parece haber existido ninguna dificultad todavía para las patentes de nanotecnología a tenor de la decisión del Tribunal Supremo, pero esto podría llegar a ser una preocupación para los titulares de patentes.

84. Véase Ganguli y Jabade (2012)

85. Véase el Acuerdo sobre los Aspectos de los Derechos de Propiedad Intelectual relacionados con el Comercio (ADPIC).

86. Véase Ouellette (2015)

87. Véase Smalley (2014)

Otros estudiosos han planteado preguntas sobre la falta de novedad de determinadas invenciones en nanotecnología en relación con el estado de la técnica y acerca de una falta de actividad inventiva si las invenciones simplemente cambian el tamaño de las tecnologías existentes.⁸⁸ No obstante, no existen pruebas de que estas preocupaciones se hayan convertido en un obstáculo importante a la patentabilidad en la práctica.

Secretos comerciales

Dado que es complicado aplicar la ingeniería inversa a muchas invenciones en nanotecnología, los innovadores tal vez prefieran mantenerlas en secreto en lugar de solicitar una patente para protegerlas. En realidad, según los datos de que se dispone es muy probable que las innovaciones en los procesos de la nanotecnología se protejan mediante secretos comerciales.⁸⁹ Además, entre los productores de nanomateriales, es más probable que aquellos especializados en nanomateriales cerámicos, metales nanoestructurados y catalizadores se valgan de secretos comerciales. En consecuencia, si se examinan las patentes que se conceden en nanotecnología, se obtiene una idea incompleta y posiblemente sesgada de la actividad de patentamiento en este campo.

Tal y como se muestra en la figura 3.9, gran parte de la investigación en nanotecnología tiene lugar en universidades, las cuales cuentan con escasos incentivos para mantener en secreto sus invenciones. No obstante, en el caso de muchas empresas, los secretos comerciales son una estrategia importante para recuperar la inversión en I+D. El considerable número de litigios por infracción de secretos comerciales que se han producido en los EE.UU. indica que esta forma de protección de la P.I. tiene importancia. Por ejemplo, en el año 2000, Nanogen demandó a un antiguo empleado por apropiación indebida de secretos comerciales, argumentando que las solicitudes de patente que él había presentado en relación con biochips en el ámbito de la nanotecnología divulgaban secretos comerciales propiedad de Nanogen. El pago para desestimar la demanda ascendió a una cifra aproximada de 11 millones de USD. En otro caso, Agilent Technologies obtuvo una indemnización por daños y perjuicios de 4,5 millones de USD tras demandar a antiguos empleados por apropiación indebida de secretos comerciales relacionados con la cromatografía líquida con partículas a nanoescala.⁹⁰

Como en otras áreas de innovación, la política en materia de secretos comerciales debe estar equilibrada a fin de que se proporcionen incentivos a las empresas para invertir en I+D sin imponer a su vez demasiadas restricciones a la difusión del conocimiento tecnológico. Una cuestión fundamental en este contexto consiste en determinar en qué medida pueden los empleados de empresas innovadoras llevarse sus conocimientos a empresas de la competencia. Tal y como se ha argumentado en la subsección 3.2.2, la movilidad laboral puede ser un vehículo importante por medio del cual el conocimiento especializado asociado a la innovación en nanotecnología se difunda en toda la economía. No obstante, esta tampoco es una preocupación específica de la nanotecnología. Como se ha explicado en esta sección, el ecosistema de la innovación en nanotecnología es, de muchas maneras, un microcosmos de todo el ecosistema de la innovación, y la función del sistema de P.I. con respecto a la nanotecnología parece ser similar a la función que desempeña en general.

88. Véanse Ganguli y Jabade (2012) en relación con la primera cuestión, y Bleeker *et al* (2004) con respecto a la segunda.

89. Véase Lux Research Inc. (2007).

90. Véase Ouellette (2015) para obtener más detalles.

3.3 – La robótica

“En el fondo, la robótica trata de nosotros. Es la disciplina de emular nuestras vidas, de preguntarnos cómo funcionamos.”

Rod Grupen,

*director del Laboratory for Perceptual Robotics,
University of Massachusetts Amherst*

La robótica es el sector de la tecnología que impulsa el desarrollo de robots para aplicaciones en áreas tan diversas como las fábricas de coches, obras de construcción, escuelas, hospitales y hogares particulares. Los brazos robóticos industriales llevan utilizándose más de tres o cuatro décadas en la automatización industrial en el ámbito de la automoción y en otros sectores de fabricación. Sin embargo, en los últimos años se han combinado diversas líneas de campos de investigación existentes y nuevos, como la inteligencia artificial y la detección, para producir robots autónomos “avanzados” con mayores posibilidades de utilización en toda la economía y la sociedad.⁹¹

3.3.1 – El desarrollo de la robótica y su importancia económica

El Diccionario de la Real Academia Española de la Lengua define robot como “máquina o ingenio electrónico programable, capaz de manipular objetos y realizar operaciones antes reservadas solo a las personas”. Según la Federación Internacional de Robótica (IFR), “[un] robot es un mecanismo accionado programable en dos o más ejes con un grado de autonomía que le permita moverse por su entorno a fin de realizar las tareas previstas”.⁹²

El término autonomía a menudo se emplea para destacar la diferencia entre robots y otras máquinas; un robot posee la capacidad de interpretar su entorno y ajustar sus acciones para alcanzar un objetivo. En cuanto a la trayectoria tecnológica, los robots están evolucionando desde la automatización programada, pasando por la semiautonomía, hasta sistemas complejos más autónomos. Los sistemas completamente autónomos son capaces de entrar en acción y tomar “decisiones” para completar tareas sin la intervención humana.

91. Esta sección se basa en Keisner et al (2015) y Siegart (2015).

92. Véase IFR

La historia de la robótica: brazos robóticos para la automatización industrial

Los robots, en su forma más básica, no son nuevos. La historia de la robótica se remonta a la antigua Grecia con los *autómatas*, que básicamente eran máquinas móviles no electrónicas que mostraban objetos en movimiento. A partir de ahí la invención de simples autómatas siguió evolucionando, pero los robots en su forma actual empezaron a aflorar con el proceso de industrialización, para realizar tareas repetitivas.

En la historia más reciente de los robots industriales, destacan algunas invenciones fundamentales, en dos áreas, que han dado lugar a la primera encarnación de los robots para la automatización industrial.⁹³ En primer lugar, los *sistemas de control* que permiten a humanos o computadoras controlar y dirigir robots a distancia y, en segundo lugar, los *sistemas mecánicos de manipulación*, como los brazos o piernas robóticos para mover o agarrar objetos.

Con respecto a los sistemas de control remoto, resultó fundamental la invención en 1898 de una embarcación teledirigida que se patentó y se presentó al público en un parque de Nueva York.⁹⁴

En cuanto a los sistemas mecánicos de manipulación, el primer robot industrial se desarrolló en 1937 en forma de grúa pequeña. El desarrollo de brazos y piernas robóticos continuó a cargo de W.G. Walter, quien creó el primer robot autónomo a finales de la década de 1940.⁹⁵ Sin embargo, el gran avance que permitió el desarrollo del sector de la robótica corresponde a George Devol, que inventó y patentó el primer brazo robótico programable accionado automáticamente a mediados de la década de 1950.⁹⁶ Posteriormente, Devol se asoció con Joseph Engelberger, considerado por muchos estudiosos el “padre de la robótica”, para crear una empresa llamada Unimation, donde se fabricó un robot en 1956 a partir de las patentes de Devol. Con esto se inició la comercialización de los robots industriales.⁹⁷

93. Véase IFR (2012)

94. Patente N° 613,809 en los EE.UU.

95. Patente N° 2,679,940 en los EE.UU. Willard L.V. Pollard y Harold A. Roselund, cuando trabajaban en DeVilbiss Co., presentaron una solicitud de patente para el primer pulverizador de pintura mecanizado programable en 1942.

96. Patente N° 2,988,237 en los EE.UU. Véase también Nof (1999).

97. Véase Rosheim (1994).

Desde entonces, los brazos robóticos se han perfeccionado y mejorado. El primer brazo articulado (de revoluta) eléctrico controlado por computadora, por ejemplo, se desarrolló en el *Case Institute of Technology* de la *Case Western Reserve University*, en EE.UU. En 1969, investigadores de la *Stanford University* inventaron el denominado Brazo Manipulador Universal Programable, que permitía un control más sofisticado para el montaje y la automatización.⁹⁸ Uno de estos investigadores, Victor Scheinman, fundó Vicarm Inc. para fabricar el brazo, lo cual resultó ser fundamental para el desarrollo del sector de la robótica; finalmente, vendió la empresa a Unimation en 1977.

Los primeros robots comerciales, que se basaron ampliamente en el trabajo de los inventores y las empresas antes mencionados, se incorporaron a las líneas de montaje de General Motors en los EE.UU. en 1961.⁹⁹ El primer robot industrial de Europa, un Unimate, se instaló en Suecia en 1967. En 1969, la empresa Trallfa de Noruega ofreció el primer robot de pintura comercial. En 1973, ABB Robotics y KUKA Robotics comercializaron sus primeros robots. Desde entonces, el sector de la robótica ha ido mejorando constantemente la funcionalidad y el control de las piezas mecánicas de los robots.

Aproximadamente una década después de que Devol presentara su solicitud de patente, empresas del Japón comenzaron a desarrollar y producir sus propios robots con arreglo a un acuerdo de concesión de licencia con Unimation. En 1970, la fabricación robótica había proliferado por todo el sector de la automoción en los EE.UU. y el Japón. A finales de la década de 1980, el Japón – encabezado por las divisiones de robótica de Fanuc, Matsushita Electric Industrial Company, Mitsubishi Group y Honda Motor Company – era el líder mundial en fabricación y utilización de robots industriales.

Invencciones paralelas fundamentales en el ámbito de los robots de embalaje – por ejemplo, el robot de embalaje Delta desarrollado en la *École polytechnique fédérale de Lausanne*, que produjo 28 patentes – modernizaron la industria del envase y embalaje.

Un robot humanoide a escala real desarrollado en la *Waseda University* del Japón sentó las bases de la continuidad de la innovación en este ámbito, facilitando una mejor interacción entre el robot y el ser humano que resulta interesante para los mercados actuales de robots orientados al consumidor.

Hacia los sistemas autónomos basados en la inteligencia artificial y la conectividad

Con el fin de crear unos robots más capaces, los investigadores han trabajado para aumentar la autonomía y mejorar la interacción entre humanos y robots. Nuevos materiales e innovaciones en diversos campos ajenos a la robótica, a saber, inteligencia artificial, mecatrónica, navegación, detección, reconocimiento de objetos y tratamiento de la información, son los avances tecnológicos esenciales que favorecen a la robótica actualmente.¹⁰⁰ La investigación se ha vuelto más interdisciplinaria.

En particular, la innovación en programas informáticos e inteligencia artificial será esencial para los robots de próxima generación. Esto ayuda a los robots a maniobrar y sortear obstáculos. El gran avance fundamental en el desarrollo de algoritmos que juegan un papel decisivo en la planificación de trayectorias en robótica tuvo lugar a mediados de la década de 1980.¹⁰¹ Los algoritmos son cada vez más primordiales en cuanto a la manera en que los robots toman decisiones más complejas, por ejemplo, la forma en que los robots domésticos o de servicio simulan las emociones. Los investigadores trabajan actualmente en programas informáticos que imiten el cerebro humano, perfeccionando las aptitudes lingüísticas y de toma de decisiones.

A raíz de las mejoras en materia de conectividad, sensores y potencia de procesamiento, los robots se guían cada vez más por los datos, y se vinculan a través de redes más inteligentes. Como tal, la innovación consiste cada vez más en integrar programas informáticos y equipos físicos y, por lo tanto, ofrecer sistemas operativos robóticos e inteligentes. En cuanto a las aplicaciones, el desarrollo de vehículos autónomos y drones se considera una extensión de la robótica.

98. Scheinman (2015).

99. IFR (2012).

100. Kumaresan y Miyazaki (1999)

101. Smith y Cheeseman (1986)

La contribución económica de la robótica

Los robots ya tienen una repercusión importante y demostrable en la manera en que tiene lugar la fabricación. Desde el inicio de la automatización industrial en la década de 1970, la adopción de robots en el ámbito de la fabricación ha aumentado de forma significativa. Se estima que el valor del mercado de los robots industriales ascendió a 29 mil millones de USD en 2014, incluidos los costos de los programas informáticos, los equipos periféricos y la ingeniería de sistemas (véase el cuadro 3.8).

Cuadro 3.8: Diferentes estimaciones de los ingresos en el sector de la robótica

Estimación	Definición	Fuente
29 mil millones de USD (2014)	Mercado mundial de la robótica industrial	IFR (2014a)
33 mil millones de USD (2017)		
50-62 mil millones de EUR (2020)	Mercado mundial de la robótica industrial	euRobotics (2014)
3,6 mil millones de USD	Mercado mundial de los robots de servicio (de los cuales 1,7 mil millones de USD se destinan al uso doméstico)	IFR (2014b)

Como se ilustra en la figura 3.11 (parte superior), está aumentando el número de robots vendidos, alcanzando alrededor de las 230.000 unidades vendidas en 2014, con respecto a una cifra de alrededor de 70.000 unidades vendidas en 1995, y se prevé un rápido incremento en los próximos años. El Japón, los EE.UU. y Europa fueron los líderes iniciales en cuanto a dimensión del mercado.

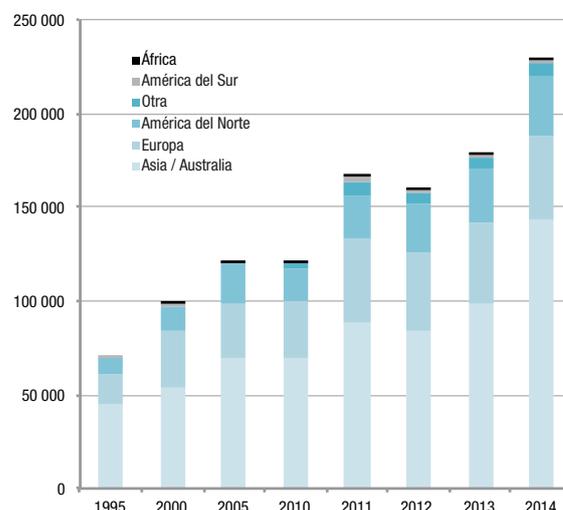
Resulta interesante que hayan cambiado poco los porcentajes respectivos de diversas regiones del mundo en ventas mundiales en el ámbito de la robótica, con Asia al frente, seguida de Europa y América del Norte, y volúmenes bastante pequeños en América del Sur y África. Dentro de Asia, China ha pasado de ningún robot en 1995 a adelantar al Japón para convertirse en el mayor mercado de robots. La República de Corea es ahora el segundo mayor usuario de robots industriales de Asia.¹⁰²

102. En relación con la densidad robótica, en 2014 la República de Corea tuvo la mayor densidad de robots del mundo, con 437 unidades por 10.000 personas empleadas en el sector manufacturero, seguida del Japón (323) y Alemania (282). En comparación, la densidad de China fue 30, la del Brasil 9 y la de la India 2 (IFR, 2014a).

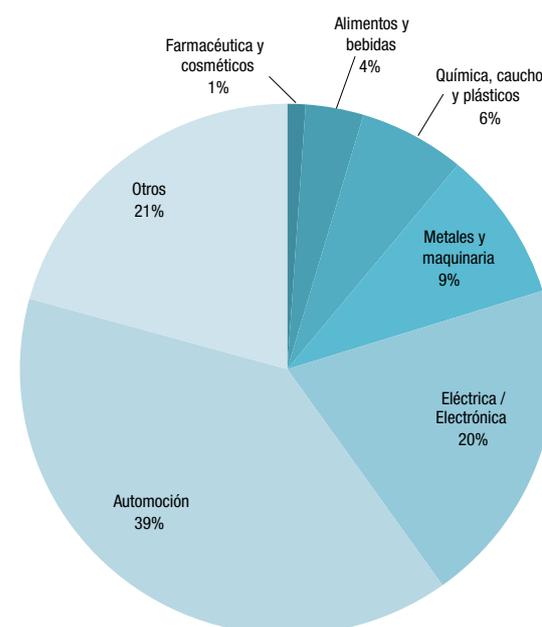
En cuanto a los sectores, la industria de la automoción sigue siendo la fuerza motriz principal que impulsa la automatización, seguida de los sectores de la electrónica (véase la figura 3.11; parte inferior). La innovación permitirá una fabricación más flexible y a pequeña escala.

Figura 3.11: Los envíos de robots industriales van en aumento en todo el mundo: Asia y el sector de la automoción llevan la delantera

Envíos en miles de unidades, 1995-2014 (parte superior)



Porcentaje por sectores de los envíos totales, 2014 (parte inferior)



Nota: Las regiones que figuran aquí se ajustan a la definición de la IFR.

Fuente: Datos de World Robotics de la IFR, 2014.

Un ámbito novedoso en robótica es la producción y la utilización de robots de servicio en áreas ajenas al campo de la fabricación. En esta categoría se engloban los robots concebidos para el “uso profesional” en agricultura, minería, transporte – incluido el amplio campo de los vehículos terrestres y aéreos no tripulados, los sistemas de exploración del espacio y el mar, y los equipos no tripulados de vigilancia –, salud, educación y otras esferas.¹⁰³

El número total de robots de servicios profesionales alcanzó la cifra de 3,6 mil millones de USD en 2014, y se prevé que lidere el crecimiento en el uso de los robots en el futuro.¹⁰⁴ Los mayores mercados son los del Japón, la República de Corea, los EE.UU. y Europa. Los sectores que lideran su uso son los de defensa, logística y salud. Se prevé que el mercado de los robots quirúrgicos, que ha generado 3,2 mil millones de USD en 2014, alcance los 20 mil millones de USD en 2021.¹⁰⁵

Además, la aplicación de la robótica a los entornos personal y doméstico, otro campo novedoso de la robótica, ha experimentado un fuerte crecimiento mundial con relativamente pocos productos comercializados en el mercado general, por ejemplo robots limpiasuelos, segadoras, robots destinados a la educación y robots asistenciales para las personas mayores.¹⁰⁶ Con volúmenes de ventas bajos o inexistentes incluso en 2012 y 2013, la venta de ese tipo de robots se disparó de manera exponencial en 2014 y posteriormente.

En varios informes de consultoría se ha enfatizado la gran cantidad de ahorro que se genera por medio de la robótica avanzada en los sectores de la salud, la fabricación y los servicios, lo que da lugar a estimaciones elevadas en relación con el aumento del crecimiento económico.¹⁰⁷ No obstante, es muy complicado cuantificar la contribución de los robots a la mejora de la productividad en términos concretos.

Los robots mejoran la productividad laboral, reducen los costos de producción y aumentan la calidad del producto. En el sector de los servicios en particular, los robots también pueden posibilitar modelos comerciales totalmente nuevos. Los robots de servicio brindan asistencia a personas discapacitadas y cortan el césped, pero también se están incorporando cada vez más en el sector de los servicios como, por ejemplo, en restaurantes u hospitales.

En cuanto al bienestar, los robots ayudan al ser humano a evitar trabajos extenuantes o peligrosos. También pueden aportar soluciones ante desafíos sociales como atender a la población de edad avanzada o conseguir un transporte respetuoso con el medio ambiente.

En parte, los beneficios económicos derivados de los robots están directamente relacionados con la sustitución – y, por tanto, la automatización – de parte de la mano de obra contratada actualmente.¹⁰⁸ Por un lado, una mano de obra más productiva contribuye a que las empresas manufactureras sigan siendo competitivas, con lo que se evita su traslado al extranjero y se crean puestos de trabajo con salarios más elevados. Por otro lado, no cabe duda de que el uso de robots elimina no solo los trabajos de poca cualificación sino también algunos trabajos de más alta cualificación que, hasta la fecha, no se habían visto afectados por la automatización. A fin de cuentas, actualmente la repercusión de la robótica en el empleo es no obstante incierta.

En lo tocante a los beneficios económicos generales, otra cuestión es si la innovación en robótica se ha difundido ya en países de ingresos bajos y medianos con repercusiones significativas. La base de robots instalada fuera de varias economías de ingresos altos y algunas excepciones como China sigue siendo limitada, incluso en países como el Brasil o la India, pero en particular también en economías menos desarrolladas. A pesar de eso, se espera que las empresas implicadas en actividades de fabricación y montaje para cadenas de suministro internacionales o nacionales tengan que aumentar el uso que hacen de los robots, entre ellas algunas establecidas en economías de ingresos medios o incluso bajos que hasta ahora han competido solas con mano de obra barata. Los robots también están ganando terreno en países de ingresos bajos para hacer frente a cuestiones de calidad en el ámbito de la fabricación local.

103. Véase IFR

104. IFR (2014b)

105. Wintergreen Research Inc. (2015)

106. IFR (2014b)

107. El McKinsey Global Institute calcula que la aplicación de la robótica avanzada podría generar un posible impulso económico de entre 1,7 billones de USD y 4,5 billones de USD al año en 2025, en el que figuran más de 2,6 billones de USD en valor a partir de los usos en el ámbito sanitario (McKinsey Global Institute, 2013).

108. Metra Martech (2011), Miller y Atkinson (2013), Frey y Osborne (2013) y Brynjolfsson y McAfee (2014).

3.3.2 – El ecosistema de la innovación en robótica

Tras la evolución desde la era de la automatización industrial hasta el uso de la robótica avanzada en la economía, el sistema de la innovación actual en robótica se caracteriza por algunos rasgos básicos.

Concentración en algunos países principales y “comunidades” cerradas de robótica con fuertes vínculos

La innovación en robótica tiene lugar principalmente en varios países y “comunidades”.¹⁰⁹ Estas “comunidades” prosperan a raíz de la interrelación entre investigación pública y privada, siendo las empresas las que comercializan la innovación resultante.

En un análisis de bases de datos de empresas de robótica se indica que las “comunidades” de robótica se encuentran principalmente en los EE.UU., Europa – en particular Alemania, Francia y, en cierta medida, el Reino Unido – y el Japón, pero también cada vez más en la República de Corea y China.¹¹⁰ En lo que concierne al PIB o a la dimensión de la población, Dinamarca, el Canadá, el Reino Unido, España, Finlandia, Italia, Israel, la Federación de Rusia, los Países Bajos, Noruega, Suecia y Suiza destacan como economías con una gran presencia de empresas innovadoras en robótica.

Esta idea de actividad inventiva concentrada en varias naciones, que ahora se está extendiendo para incluir a naciones innovadoras de Asia, también se refleja en los datos sobre patentes. En la figura 3.12 se representa el número de primeras solicitudes de patente presentadas en todo el mundo en robótica entre 1960 y 2012. Se pone de manifiesto la importancia que han tenido desde el principio los inventores de los EE.UU. y Europa, y, posteriormente, el Japón, y la aparición de la República de Corea a principios de la década de 2000 y, más recientemente, de China.¹¹¹ Aunque el porcentaje de patentes de China en relación con el número total de patentes de robótica fue tan solo del 1% en el año 2000, esa cifra ha aumentado hasta el 25% en 2011. El porcentaje de la República de Corea ascendió al 16% en 2011. El porcentaje del Japón descendió del 56% en 2000 al 21% en 2011.

En estos pocos países, las “comunidades” de robótica se concentran en torno a ciudades o regiones específicas – y a menudo alrededor de las principales universidades del sector. Por ejemplo, en los EE.UU., Boston, Silicon Valley y Pittsburgh se consideran en general las tres principales “comunidades” de robótica. En Europa destacan, entre otras, las regiones de Île-de-France en Francia (particularmente por los drones civiles), Múnich en Alemania, Odense en Dinamarca, Zúrich en Suiza y Robotdalen en Suecia. En Asia, las principales “comunidades” de robótica se encuentran en Bucheon en la República de Corea, Osaka y Nagoya en el Japón, y Shanghái y la provincia de Liaoning en China.

Algunas empresas que destacan en la innovación en robótica se encuentran fuera de estas “comunidades”. Normalmente son grandes empresas consolidadas en el sector de la automoción o también, cada vez más, empresas de Internet, que están bien establecidas en su propio ámbito. Dichas empresas disponen de los medios económicos y las aptitudes para contratar a expertos en robótica y para utilizar conocimientos desarrollados en otro lugar, a menudo también mediante la adquisición de empresas nuevas.

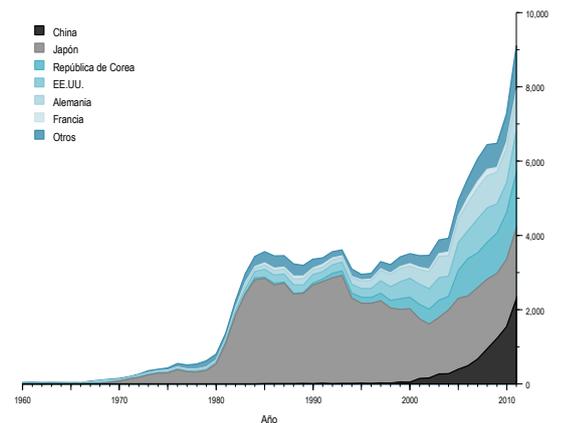
109. Green (2013).

110. Tobe

111. Véase también UKIPO (2014).

Figura 3.12: Crecimiento pronunciado en la actividad de patentamiento en robótica, especialmente a finales de la década de 1980 y desde 2005

Primeras solicitudes de patente presentadas, por origen, 1960-2011



Fuente: OMPI a partir de datos de la base de datos PATSTAT (véanse las notas técnicas).

En la figura 3.13 se indica el origen de los primeros solicitantes de patentes en el período comprendido entre 2000 y 2012. Los países con el mayor número de solicitudes presentadas son el Japón, China, la República de Corea y los EE.UU., con más de 10.000 solicitudes de patente presentadas en cada uno; juntos constituyen aproximadamente el 75% de las solicitudes de patente presentadas en robótica, seguidos de Alemania con apenas 9.000 solicitudes de patente y Francia con más de 1.500. Otros países como Australia, el Brasil, diversos países de Europa Oriental, la Federación de Rusia y Sudáfrica también muestran una actividad de patentamiento más reciente en robótica, aunque con unos niveles bajos de presentación de solicitudes.

En realidad, en lo que concierne a la innovación en robótica y las empresas emergentes, la mayoría de la actividad se produce en países de ingresos altos, a excepción nuevamente de China. China ha experimentado un aumento vertiginoso de solicitudes de patente presentadas en robótica y cuenta con algunas de las empresas de robótica de mayor crecimiento, como DJI (empresa de drones), y nuevos fabricantes de robots industriales, como Siasun y Estun, que están reduciendo el costo de los robots.

El ecosistema colaborativo de la innovación en robótica es sumamente dinámico y hace un uso intensivo de la investigación

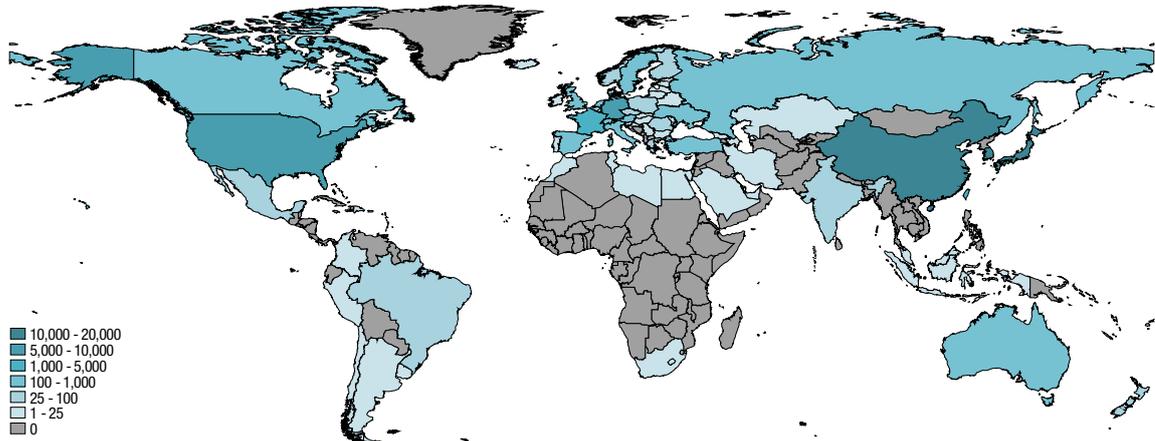
El ecosistema de la innovación en robótica engloba a una red hermética y cooperativa de actores, que incluye a individuos, instituciones de investigación y universidades, y empresas grandes y pequeñas que hacen un uso intensivo de tecnologías. La robótica aún diversos grandes avances en ciencia y tecnología para crear nuevas aplicaciones; aunque está bien asentada, sigue ofreciendo nuevas invenciones a medida que aparecen en escena nuevos materiales, fuerzas motrices, sistemas de control, técnicas de detección y cibernsistemas.

Como se demuestra en la sección 3.3.1, los emprendedores individuales y sus empresas emergentes desempeñaron una función decisiva a la hora de poner en marcha y desarrollar posteriormente el sector de la robótica.

Determinadas instituciones públicas de investigación también son actores fundamentales del ecosistema de la innovación en robótica. Algunos ejemplos de universidades destacadas son *McGill* en el Canadá, *Carnegie Mellon* en los EE.UU., *ETH* en Suiza, *Imperial College* en el Reino Unido, *Sydney University* en Australia, *Osaka University* en el Japón y la *Shanghai Jiao Tong University* en China. También cabe destacar instituciones públicas de investigación como el *Korean Institute of Science and Technology*, el *Fraunhofer* de Alemania, el *Industrial Technology Research Institute* de Taiwán (provincia de China) y la *Russian Academy of Sciences*.

Figura 3.13: Diversidad geográfica creciente pero limitada en la innovación en robótica

Primeras solicitudes de patente presentadas, por origen, 2002-201



Fuente: OMPI a partir de datos de la base de datos PATSTAT (véanse las notas técnicas).

Tradicionalmente, estas instituciones científicas han desempeñado una función importante en la innovación, en general, por medio de investigaciones a largo plazo cuyas aplicaciones comerciales solo se llevarán a cabo en un futuro lejano. Sin embargo, en la robótica específicamente, han tenido, y siguen teniendo, un papel importante en el fomento del desarrollo a través de la creación de empresas derivadas, mediante la actividad de patentamiento (véase la sección 3.3.3) y por medio de una estrecha colaboración con las empresas.¹¹² Algunos ejemplos de empresas derivadas son Empire Robotics, una empresa derivada de la *Cornell University*, y Schaft Inc., una empresa derivada de la *University of Tokyo*. La colaboración entre empresas e instituciones públicas de investigación también es directa, como en el caso de KUKA, que desarrolló robots ligeros con el *German Institute of Robotics and Mechatronics*. Además, su cada vez mayor oferta de títulos oficiales en robótica ha sido decisiva en el desarrollo y la difusión de aptitudes, ya que las empresas contratan a recién graduados.

En lo que se refiere a empresas que llevan a cabo actividad inventiva en robótica, pueden identificarse tres tipos principales.

En primer lugar, inventores individuales afiliados a instituciones académicas o “comunidades” de robótica a menudo crean pequeñas empresas emergentes o empresas especializadas en robótica, a veces con un importante apoyo gubernamental, ya sea directo o indirecto. Un ejemplo es Universal Robots, que surgió a partir de una “comunidad” de robótica en Dinamarca con vínculos con el *Danish Technological Institute*, que recibió fondos iniciales del gobierno.

Aunque algunas partes del sector presentan un mayor grado de madurez actualmente, el potencial de las pequeñas empresas emergentes en el ámbito de la robótica sigue siendo grande. En la fase temprana de la innovación radical, las pequeñas empresas emergentes demuestran más agilidad y velocidad, y una mayor interacción con el mundo académico. Además, los ecosistemas de la innovación se están especializando cada vez más, lo que permite crear empresas especializadas para determinados nichos de mercado. Los desarrolladores externos independientes forman parte cada vez más del sistema de la innovación en robótica, ya que las plataformas de robótica, a menudo basadas en arquitecturas de programas informáticos de código abierto, son el punto de partida para un posterior desarrollo. Asimismo, un número cada vez mayor de empresas prestan servicios relacionados con la robótica – sistemas de gestión de máquinas o de movilidad. Además, el aumento de nuevas empresas

112. Nof (1999).

de robótica más orientadas al consumidor y de nuevos mecanismos de financiación permite la puesta en marcha de pequeñas empresas emergentes. Por ejemplo, Play-i, que ahora se denominada Wonder Workshop y se centra en crear robots de juguete con fines educativos, recaudó dinero recientemente por medio de plataformas de financiación colectiva.

En segundo lugar, grandes empresas consolidadas de robótica, que se dedicaban al principio a la investigación y la producción de robots industriales solamente, como ABB (Suiza), Kawasaki Heavy Industries, Yaskawa y Fanuc (el Japón) y KUKA (Alemania), siguen activas en materia de I+D en robótica. La escala importa, ya que, para innovar en el campo de los equipos físicos aplicados a la robótica industrial, se requiere un uso muy intensivo de capital, dado que la investigación tarda años en materializarse. Grandes clientes del sector de la automoción, por ejemplo, solo están dispuestos a comprar en grandes empresas consolidadas y de confianza para evitar riesgos de seguridad. Asimismo, están apareciendo grandes empresas de robótica a raíz de la novedosa tendencia de los robots de servicio y domésticos. Un ejemplo de ello es iRobot (EE.UU.). Inicialmente fue una empresa derivada del MIT y ahora es una empresa grande que produce robots para el mundo empresarial y hogares particulares, y con fines de seguridad, pero genera la mayoría de sus ingresos a partir del desarrollo de aplicaciones militares.

En tercer lugar, grandes empresas que no pertenecen al sector de la robótica también han adquirido competencias relacionadas. Empresas como BAE Systems (Reino Unido), especialista en defensa, aeronáutica y seguridad, siempre han sido actores importantes de la innovación en robótica, y lo continúan siendo. Además, empresas del sector de la automoción siguen siendo importantes, en particular debido a su propio uso significativo de robots. Un acontecimiento novedoso es la creciente participación de empresas de electrónica y de TIC como Samsung (República de Corea) y Dyson (Reino Unido). Conforme la robótica va dependiendo más de la conectividad y las redes de TIC, empresas de Internet o relacionadas con las tecnologías de la información, como Amazon, Google y Facebook, aunque también la empresa de servicios de TIC Infosys de la India, Alibaba de China y Foxconn de Taiwán (provincia de China), están introduciéndose en el sector, a menudo mediante la adquisición de acciones de empresas de robótica consolidadas o incluso por medio de la adquisición de la plena propiedad.

Asimismo, empresas del sector de la salud también destacan cada vez más en la investigación en robótica. Por ejemplo, entre los líderes del mercado en el área de los robots quirúrgicos figuran Intuitive Surgical, Stryker y Hansen Medical.

En términos generales, el intercambio de conocimientos en el ecosistema de la robótica parece ser amplio y fluido en la actualidad. Esto se ve beneficiado por el carácter de uso intensivo de la ciencia que tiene la innovación en robótica y por la importante función que desempeñan las instituciones de investigación y científicas, pero también hay que reconocer que se debe a la fase naciente en la que se encuentran muchas líneas de la robótica avanzada. Los artículos científicos y las conferencias – como el *International Symposium on Industrial Robots* – desempeñan una función fundamental en la transferencia de conocimientos. Además, los concursos y premios en materia de robótica que recompensan las soluciones ante desafíos específicos permiten a los investigadores aprender y comparar su progreso, y reducir la diferencia entre la oferta y la demanda de robots. La colaboración entre los tres tipos de empresas anteriormente mencionadas es amplia.

Por último, es probable que la innovación descentralizada a través de programas informáticos aumente en el futuro conforme los robots se extiendan más y las plataformas y los sistemas robóticos estén más normalizados. En la práctica, un conjunto más amplio de empresas y socios externos serán capaces de ofrecer soluciones adaptadas a las plataformas robóticas informáticas que existan protegidas por la P.I. Esto posibilitará una mayor modularidad en la innovación.

La importante función del gobierno en la instrumentación y financiación de la innovación

Los gobiernos y sus instituciones han desempeñado una función importante en el apoyo a la innovación en robótica. El conjunto estándar de políticas gubernamentales en materia de innovación neutras desde el punto de vista tecnológico ha respaldado fuertemente la innovación en robótica, en particular por medio de políticas de estímulo a la oferta que adoptan la forma de financiación de la investigación o de apoyo a la I+D empresarial.

Además de las importantes medidas de apoyo a la innovación normal y de financiación de la investigación, cabe mencionar algunas medidas de apoyo específicas:

Creación de redes o instituciones especiales de investigación: algunos ejemplos son el *Swiss National Centre of Competence in Research Robotics*, que federa laboratorios de investigación, y el *Korea Robot Industry Promotion Institute*, creado para promover la transferencia de tecnología.

Financiación de la I+D, subvenciones y contratación pública: los gobiernos, y a menudo el ejército, financian la innovación en robótica y generan demanda por medio de subvenciones o mediante contratación – a menudo precomercial. En los EE.UU., los contratos de I+D, por ejemplo de los Institutos Nacionales de la Salud o la DARPA, son los catalizadores más importantes.¹¹³ La contratación precomercial de soluciones de robótica para el sector de la salud, por ejemplo, forma parte del programa europeo Horizonte 2020.

Organización de concursos y desafíos, y concesión de premios: los gobiernos han desempeñado la función de organizador de concursos de robótica. El Japón ha anunciado unas olimpiadas de robots, el Reino Unido celebró hace poco una competición de vehículos sin conductor y el desafío *DARPA Robotics Challenge* es una referencia.

Incentivos para la colaboración, transferencia de tecnología, financiación e incubación: los gobiernos requieren frecuentemente colaboración y transferencia de tecnología por medio de subvenciones o contratos. Los proyectos de robótica del programa europeo Horizonte 2020, por ejemplo, estimulan los proyectos de

colaboración público-privada de carácter multidisciplinario. Además, las actividades gubernamentales tienen por objeto facilitar el desarrollo de “comunidades”, la iniciativa empresarial y el establecimiento de contactos en el mundo empresarial. Los gobiernos también facilitan la financiación de la innovación en robótica, por ejemplo, el fondo de capital inicial *Robolution Capital* del Gobierno de Francia.

Reglamentos y normas: por último, las normativas que crean los gobiernos, en forma de normas, pruebas y reglamentos de seguridad, inciden en la difusión de tecnologías de robótica.

A lo anterior cabe añadir que muchos países de ingresos altos y China han anunciado planes de acción especiales en materia de robótica en los últimos años (véase el cuadro 3.9). En su gran mayoría, con estos planes se anuncian inversiones monetarias específicas en apoyo a la investigación y la innovación en robótica, que también abarcan la mejora de la educación y la transferencia de tecnología en dicho campo.

Cuadro 3.9: Iniciativas nacionales en materia de robótica

Iniciativa nacional <i>Advanced Manufacturing Partnership</i> en materia de robótica	EE.UU. (2011)
Iniciativas francesas en materia de robots/ <i>Feuille de Route du Plan Robotique</i>	Francia (2013/2014)
Proyectos de robótica del programa Horizonte 2020	Unión Europea (2015)
La nueva revolución industrial impulsada por robots (<i>Robot Revolution</i>)	Japón (2015)
La robotización industrial de próxima generación	República de Corea (2015)
Hoja de ruta para la tecnología de robótica del 13 ^{er} plan quinquenal (2016-2020)	China (2015)

3.3.3 La robótica y el sistema de P.I.

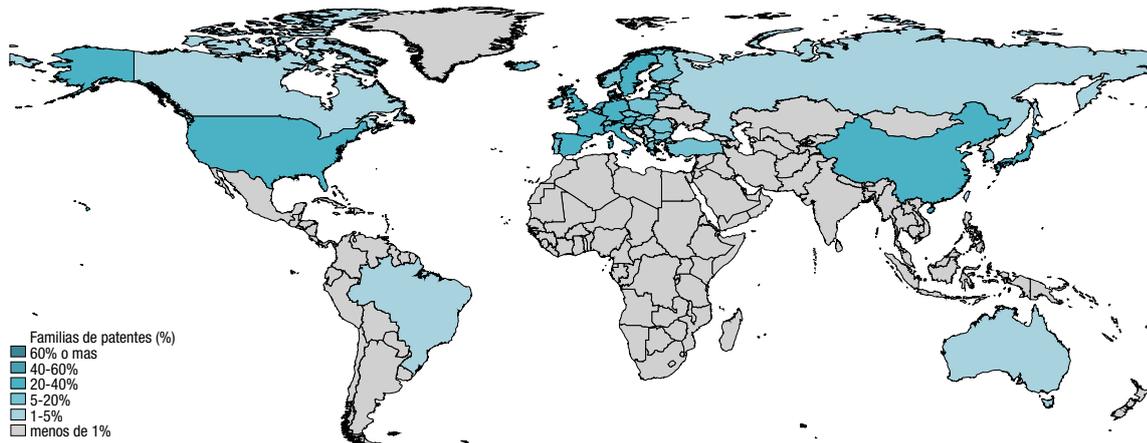
El enfoque de la innovación en robótica está cambiando de la automatización industrial a una robótica más avanzada que involucra a diversos sectores de la tecnología, actores y agentes económicos. Como resultado, la P.I. conexa y otras estrategias para recuperar la inversión en innovación se encuentran en estado embrionario; no las entendemos por completo.

Sin embargo, se pueden formular algunas conclusiones provisionales sobre estrategias de recuperación de la inversión en base a la literatura existente, los datos y las perspectivas de profesionales del sector y de investigadores del ámbito de la robótica.

113. Mireles (2006), Springer (2013) y Siegart (2015).

Figura 3.14: La actividad de patentamiento en robótica se centra únicamente en algunos destinos determinados

Porcentaje de familias de patentes, en todo el mundo, para las que se ha solicitado protección en un país determinado, desde 1995



Fuente: OMPI a partir de datos de la base de datos PATSTAT (véanse las notas técnicas).

El papel cada vez más importante de las patentes, su valiosa función y los posibles desafíos

Dos formas de protección de la P.I. desempeñan un papel particularmente importante a la hora de ayudar a las empresas a recuperar la inversión en I+D: las patentes y, en menor medida, los diseños industriales que protegen las características ornamentales de un robot.

Las invenciones fundamentales en robótica solían patentarlas sus inventores originales – a menudo académicos –, quienes también fundaban a menudo su correspondiente empresa o transferían la P.I. a empresas manufactureras existentes.

Por consiguiente, las solicitudes de patente presentadas en robótica aumentaron considerablemente a finales de la década de 1980, conforme prosperaba la amplia automatización de las fábricas y se incrementaba la investigación en el campo de la robótica (véase la figura 3.12). Posteriormente, tras una actividad de patentamiento relativamente estable entre la década de 1980 y el año 2000, el cambio a una robótica más avanzada dio un nuevo impulso a la actividad de patentamiento en robótica, el cual continúa a día de hoy.

En la figura 3.14 se indica que, de hecho, la exclusividad de las patentes en el campo de la robótica está sumamente concentrada, desde el punto de vista geográfico. El Japón es el principal destino, y aproximadamente el 39%, en todo el mundo, de las familias de patentes del

ámbito de la robótica tienen un equivalente allí; está seguido de los EE.UU. y China, con prácticamente el 37%, Alemania con el 29%, otros países de Europa y la República de Corea. En cambio, solamente el 1,4% de las familias de patentes del ámbito de la robótica poseen equivalentes en países de ingresos bajos y medianos que no son China.

Las empresas de automoción y electrónica siguen siendo las que más solicitudes de patente presentan en relación con la robótica (véase el cuadro 3.10), pero están surgiendo nuevos actores en diferentes países y sectores como el de las tecnologías médicas. El tamaño de las carteras de patentes de robótica de estas empresas está aumentando, ya que las empresas las desarrollan de forma orgánica o adquieren empresas con una serie de patentes concedidas.

Cuadro 3.10: Los 10 principales solicitantes de patentes de robótica, desde 1995

Nombre de la empresa	País	Número de primeras solicitudes de patente presentadas
Toyota	Japón	4 189
	República de Corea	3 085
Samsung		
Honda	Japón	2 231
Nissan	Japón	1 910
Bosch	Alemania	1 710
Denso	Japón	1 646
Hitachi	Japón	1 546
Panasonic (Matsushita)	Japón	1 315
Yaskawa	Japón	1 124
Sony	Japón	1 057

Fuente: OMPI a partir de datos de la base de datos PATSTAT (véanse las notas técnicas).

Cuadro 3.11: Los 10 principales titulares de patentes de robótica entre universidades e instituciones públicas de investigación, desde 1995

Los 10 principales titulares de patentes en todo el mundo			Los 10 principales titulares de patentes en todo el mundo (excluido China)		
<i>Shanghai Jiao Tong University</i>	811	China	<i>Korea Institute of Science and Technology (KIST)</i>	290	República de Corea
<i>Chinese Academy of Sciences</i>	738	China	<i>Electronics and Telecommunications Research Institute (ETRI)</i>	289	República de Corea
<i>Zhejiang University</i>	300	China	<i>National Aerospace Laboratory (actualmente JAXA)</i>	220	Japón
<i>Korea Institute of Science and Technology (KIST)</i>	290	República de Corea	KAIST	188	República de Corea
<i>Electronics and Telecommunications Research Institute (ETRI)</i>	289	República de Corea	<i>Deutsche Zentrum für Luft- und Raumfahrt</i>	141	Alemania
<i>Tsinghua University</i>	258	China	<i>Fraunhofer-Gesellschaft zur Förderung der angewandten Forschung</i>	91	Alemania
<i>Harbin Engineering University</i>	245	China	<i>University of Korea</i>	85	República de Corea
<i>National Aerospace Laboratory</i>	220	Japón	<i>Hanyang University</i>	84	República de Corea
<i>Harbin Institute of Technology</i>	215	China	<i>Seoul National University</i>	77	República de Corea
KAIST	188	República de Corea	<i>National Institute of Advanced Industrial Science and Technology (AIST)</i>	69	Japón

Nota: Hay inventores académicos que presentan solicitudes de patente con su propio nombre o el de la empresa derivada en determinados países. Estos no se recogen aquí.

Fuente: OMPI a partir de datos de la base de datos PATSTAT (véanse las notas técnicas).

Cabe destacar el gran número de solicitudes de patente, y cada vez mayor, que presentan universidades e instituciones públicas de investigación. En el cuadro 3.11 se enumeran los titulares de patentes más importantes, donde ahora destacan ampliamente universidades de China. Aunque expertos del sector apuntan a una fuerte adopción del “código abierto” por parte de las jóvenes generaciones de especialistas en robótica en universidades, las carteras de P.I. de las universidades también están aumentando vigorosamente, lo que tal vez facilite la comercialización de nuevas tecnologías tal y como se describe en secciones anteriores, pero también es posible que se creen nuevos desafíos para universidades e instituciones públicas de investigación en cuanto a la gestión y utilización de estas carteras de proporciones considerables.

Resulta complicado conocer los diversos factores que llevan a las empresas del ámbito de la robótica a presentar solicitudes de patente, dada la base empírica actual. No existe ningún estudio a gran escala sobre empresas de robótica ni otros trabajos cuantitativos sólidos que despejen las dudas en relación con esta cuestión. También es difícil dar una respuesta definitiva acerca de la incidencia que tienen las patentes de robótica en la continuidad de la innovación a través de la divulgación, la concesión de licencias y la colaboración basada en la P.I.

No obstante, se pueden formular conclusiones a partir de las opiniones de expertos del sector, entre ellos abogados y especialistas en robótica.¹¹⁴

Al igual que en otros sectores de la alta tecnología, y en previsión de los considerables beneficios comerciales del sector de la robótica, las empresas de robótica pretenden utilizar las patentes para excluir a terceros, garantizar su libertad de acción, conceder licencias y licencias cruzadas de tecnologías y, en menor medida, evitar litigios. En el caso concreto de las pequeñas empresas especializadas en robótica, las patentes son un instrumento para tratar de conseguir inversiones o un medio de proteger sus activos de P.I. de forma preventiva contra otras empresas, a menudo más grandes.

En cuanto a la incidencia del sistema de patentes sobre la innovación, actualmente, el sistema de innovación parece relativamente fértil.¹¹⁵ La colaboración – incluida la interacción de las universidades y las empresas – es estrecha, y existen amplios intercambios fecundos en materia de investigación. Al parecer, las patentes contribuyen a apoyar la especialización de las empresas, lo cual es importante para la evolución del sistema de la innovación en robótica.

También es complicado argumentar que la protección por patente impide la entrada en el mercado o restringe la innovación en robótica de forma más general mediante la limitación del acceso a la tecnología. Los datos disponibles indican que se producen pocos o ningún litigio en el campo de la robótica. De hecho, la mayoría de las controversias surgidas en relación con la P.I. en

114. Keisner et al (2015)

115. Keisner et al (2015)

el campo de la robótica durante los últimos 10 años ha implicado a tan solo una empresa, iRobot.¹¹⁶

También es difícil constatar la importancia de patentes en concreto en la innovación en el campo de la robótica. Actualmente, ninguna patente se ha identificado como patente esencial para cumplir con las normas técnicas; no existen consorcios de patentes conocidos en robótica. Y hay algunas colaboraciones o intercambios formales y divulgados en los que la P.I. es fundamental. Tan solo un acuerdo de concesión de licencias importante en la historia reciente de la robótica ha recibido mucha atención.¹¹⁷ Dicho esto, las adquisiciones de empresas que conllevan la transferencia de la P.I. están experimentando un notable aumento.¹¹⁸

En lo que respecta a la divulgación, las empresas utilizan las patentes para enterarse de los nuevos desarrollos de tecnología, para adquirir información sobre los planes de la competencia a fin de mejorar o crear productos, pero también para saber si un competidor está tratando de obtener una protección por patente que debiera impugnarse.¹¹⁹ El envío de citas de patentes tanto dentro como fuera del ámbito de la robótica a menudo se utiliza como una señal de que está teniendo lugar innovación incremental, que se basa en invenciones anteriores. Sin embargo, a menudo, y en particular en el sistema de patentes de los EE.UU., son una simple obligación jurídica, lo cual dificulta más la evaluación de la incidencia. Por consiguiente, sigue sin haberse calculado en gran parte el valor general de la divulgación de patentes de robótica.

Muchos de los interrogantes antes mencionados solamente se resolverán con el paso del tiempo. Puede que la P.I. no se haya utilizado completamente en la robótica avanzada y, por tanto, su posible incidencia aún no se ha materializado. En comparación con la innovación en la robótica industrial convencional del pasado, el sistema de la innovación en robótica actual implica a más actores y diversos sectores de la tecnología y conlleva muchas más solicitudes de patente. Se empiezan a vislumbrar las estrategias de P.I. ofensivas y defensivas más intensas que están presentes en otros sectores de la alta tecnología.¹²⁰

Una cuestión fundamental es si el aumento de los intereses y las oportunidades comerciales en diversos sectores inclinará la balanza hacia el lado de los costosos litigios, como en otras áreas complejas y de alta tecnología. Ha habido casos – aunque no muchos hasta la fecha – en los que entidades inactivas han interpuesto una demanda contra empresas de robótica.¹²¹ En particular, en informes de prensa se menciona la posibilidad de que existan actividades por parte de secuestradores de patentes – que se percibe negativamente – en el campo de los robots quirúrgicos y la robótica médica en general.¹²²

Dos elementos podrían incrementar la probabilidad de controversias. En primer lugar, expertos consultados durante la investigación llevada a cabo para el presente informe han mostrado su preocupación sobre el hecho de que se están realizando reivindicaciones demasiado amplias en el caso de las patentes de robótica, especialmente con respecto a patentes más antiguas. En segundo lugar, en determinados países, la patentabilidad y la novedad de las invenciones relacionadas con las computadoras por lo general son objeto de debate. Esto es particularmente cierto en los EE.UU., donde la reciente decisión del Tribunal Supremo en el caso *Alice Corp. y CLS Bank* parece haber reforzado un enfoque restrictivo sobre la idoneidad de la materia patentable de los programas informáticos.¹²³ Dada la amplia y creciente presencia de programas informáticos en la innovación en robótica, las preocupaciones acerca de la patentabilidad de los programas informáticos pueden representar un desafío en relación con las patentes actuales y futuras relacionadas con la robótica.

Las plataformas de robótica y la coexistencia de la P.I. y el código abierto

Tal y como se describe en la sección 3.3.2, las plataformas de robótica empleadas en universidades y empresas son cada vez más fundamentales para la innovación en el campo de la robótica. Asimismo, cada vez más, se trata de plataformas abiertas, a menudo basadas en programas informáticos de código abierto como el sistema operativo robótico. Estas plataformas de robótica de código abierto invitan a terceros a utilizar y/o mejorar el contenido existente sin negociaciones ni

116. Keisner *et al* (2015)

117. Keisner *et al* (2015)

118. El acuerdo más destacado en la historia reciente fue el acuerdo de desarrollo conjunto y de concesión de licencias cruzadas que tuvo lugar entre iRobot Corp e InTouch Technologies en julio de 2011.

119. Keisner *et al* (2015)

120. Keisner *et al* (2015)

121. Véase el litigio de Siemens AG y Roy-G-Biv. Véase también la demanda de Hawk Technology Systems LLC interpuesta contra Fanuc Robotics Corp, y la de Sonic Industry LLC contra iRobot Corp.

122. Sparapani (2015)

123. Thayer y Bhattacharyya (2014a, 2014b)

registros formales de derechos de P.I. En vez de eso, los programas informáticos o los diseños se distribuyen con licencias *Creative Commons* o una Licencia Pública General de GNU, una licencia de programa informático gratuita. Esto permite la creación rápida de prototipos y la experimentación flexible.

La idea es simple. Los actores distinguen entre dos niveles de innovación. Por un lado está el desarrollo mediante colaboración de programas informáticos, plataformas e innovación en robótica. Dicha innovación puede ser importante, pero es básicamente previa a la competencia porque los ámbitos de utilización son relativamente básicos y no sirven para diferenciar productos. Por lo tanto, los actores aplican enfoques cooperativos de código abierto para obtener plataformas de robótica comunes, ya que esto les permite compartir las importantes inversiones que se realizan por adelantado, evitar la duplicación de esfuerzos y perfeccionar los enfoques existentes.

Sin embargo, por otro lado, las empresas innovadoras invierten en sus propias iniciativas de I+D y tratan de proteger sus invenciones con mucha más energía cuando se trata de esos elementos de la innovación en robótica que diferencian a los productos finales.

Esta aplicación paralela de enfoques cooperativos y competitivos da lugar a una coexistencia de enfoques competitivos e inspirados en el código abierto para encargarse de la P.I.

Diversos proyectos y organizaciones sin fines de lucro apoyan el desarrollo, la distribución y la adopción de programas informáticos de código abierto para utilizarlos en la investigación, la educación y el desarrollo de productos en el ámbito de la robótica. Por ejemplo, iCub es un robot humanoide cognitivo de código abierto financiado por la UE que han adoptado un importante número de laboratorios. Poppy es una plataforma de código abierto desarrollada por INRIA Burdeos para la creación, la utilización y el intercambio de robots interactivos impresos en 3D. Otros ejemplos son el proyecto *Dronencode* y el *International Space Apps Challenge* de la NASA.

En parte, esto conllevará un giro cada vez mayor hacia la participación de usuarios finales o científicos aficionados que interactúen con aplicaciones robóticas existentes y las mejoren. En realidad, muchas plataformas de bajo costo orientadas al usuario que se han concebido para utilizarlas en casa o en escuelas, como TurtleBot y LEGO Mindstorms, se basan en plataformas de código abierto.

Este enfoque de plataforma de código abierto no se limita a los programas informáticos; también puede englobar planos como esquemas y dibujos técnicos, incluidos los diseños. La *Robotic Open Platform*, por ejemplo, se propone poner a disposición de la comunidad de robótica diseños de equipos físicos de robots por medio de una licencia *Open Hardware License*; los avances se comparten en la comunidad.

En general, resultará interesante ver en qué medida el sistema de la innovación en robótica puede preservar su actual combinación fluida de enfoques de derechos de propiedad para esos aspectos de la P.I. en los que el interés comercial sea mayor y, por otro lado, de enfoques de otro tipo que fomenten aspectos más generales de la ciencia relevante no solo por medio de concursos, sino también con la colaboración entre jóvenes especialistas en robótica y aficionados interesados en las aplicaciones de código abierto.

La protección de los grandes avances en robótica mediante la complejidad tecnológica y los secretos

La complejidad tecnológica y los secretos de los sistemas de robótica, que posiblemente sean más importantes que las patentes, a menudo se utilizan como un instrumento fundamental para recuperar la inversión en innovación. Esto es cierto en cuanto a los componentes mecánicos normales relacionados con los equipos físicos. Las empresas de robótica que fabrican un número limitado de robots sumamente caros, incluso para aplicaciones militares, normalmente no temen que la competencia obtenga la posesión física de esos robots para someterlos a ingeniería inversa. También es complicado aplicar ingeniería inversa a algoritmos y otras características de la robótica avanzada.¹²⁴

124. McGurk y Mandy (2014)

Además, existen motivos históricos por los que las empresas de robótica optan por retener la información como secretos comerciales.¹²⁵ En la década de 1980, se produjeron varios avances importantes en la robótica y las empresas presentaron un gran número de solicitudes de patente (figura 3.12). No obstante, pocas de esas invenciones se comercializaron con rapidez. Por consiguiente, las empresas invirtieron grandes sumas de dinero para obtener patentes que expiraron antes de que sus productos se comercializaran. A partir de esta experiencia, aprendieron que las patentes pueden ser costosas sin que produzcan necesariamente ningún beneficio, sobre todo en innovaciones que pueden tardar décadas en utilizarse en un producto listo para salir al mercado.

La protección de los secretos comerciales también es importante cuando la movilidad de los empleados es elevada. Ha habido varios casos en los que empresas de robótica han denunciado infracción de secretos comerciales, en concreto cuando un empleado ha aceptado un puesto en una empresa de la competencia.¹²⁶

Por último, las cuestiones más recientes en torno a la patentabilidad de programas informáticos en los EE.UU. y otros lugares podrían aumentar los incentivos para proteger invenciones relacionadas a través de los secretos.

La importancia de ser el primero en comercializar, tener buena reputación y poseer marcas fuertes

Ser el primero en comercializar, poseer un servicio posventa fuerte y gozar de una reputación y marca sólidas han sido todos factores decisivos en innovaciones pasadas en robótica, y así lo siguen siendo hoy en día – más si cabe conforme la industria sale de las fábricas y opta por aplicaciones de contacto directo con el consumidor.

En el caso de la automatización industrial, las empresas de automoción recurren solamente a algunos operadores de confianza capaces de producir un gran número de robots fiables y revisarlos con seguridad. Inicialmente, Unimation era el líder en el suministro de robots industriales; más tarde, grandes empresas como Fanuc se hicieron con el dominio.

Aunque el panorama está más diversificado hoy en día, ser el primero en comercializar y poseer una marca y reputación sólidas siguen siendo factores decisivos. Actores como hospitales, instituciones docentes y el ejército solo confiarán en empresas de robótica experimentadas y en marcas de confianza. En el ámbito de los fabricantes de robots médicos, algunos ejemplos son el robot quirúrgico DaVinci, el sistema robótico de cirugía vascular CorPath y el sistema robótico de radiocirugía CyberKnife de Accuracy. Incluso en campos relacionados con el ejército o aplicaciones similares, las marcas importan, como demuestra el uso de marcas como “BigDog” de Boston Dynamics. Pero las marcas fuertes son particularmente importantes cuando los robots se venden directamente a los usuarios finales; por ejemplo, el “robot aspirador Roomba” se basa mucho en su valor de marca.

La mayoría de las empresas de robótica incluyen en la marca el nombre de la empresa y el nombre del robot, con lo que cada vez más marcas incorporan el término “robot”.¹²⁷ Asimismo, se emplea el acondicionamiento distintivo (*trade dress*) – también una forma de identificación del origen de la P.I. – para proteger la imagen integral de un robot.

El derecho de autor

La protección por derecho de autor también es relevante para la robótica en varios aspectos.

Al contrario que una máquina más convencional, un robot puede tener carácter e imagen propios, los cuales se pueden proteger por derecho de autor, marcas y/o diseños industriales. Por ejemplo, un diseño particular de un robot o un componente es posible que reúna las condiciones para obtener la protección por derecho de autor, mientras que una banda sonora que utilice el robot puede protegerse por derecho de autor.

125. Keisner et al (2015)

126. Dos ejemplos de 2013 son los casos *ISR Group* y *Manhattan Partners* y *MAKO Surgical* y *Blue Belt Technologies*. Véase Keisner et al (2013).

127. Keisner et al (2015)

Asimismo, el código fuente y el programa informático que ejecute un robot a menudo estarán protegidos por derecho de autor. De hecho, el ejemplo más común en el que las empresas de robótica solicitan protección por derecho de autor es para el código del programa informático que se cree único y original. En la práctica, las empresas de robótica suelen hacer valer el derecho de autor para evitar que otros copien su código informático o simplemente tengan acceso a él.¹²⁸ Aparte de las controversias entre empresas, y a pesar del hecho de que la legislación nacional a menudo prevé excepciones a la ingeniería inversa, también se ha hecho valer la legislación de derecho de autor cuando un científico aficionado ha descifrado y ha cambiado un código informático.¹²⁹

¿Qué sucederá con las invenciones o las obras creativas concebidas por robots?

En el futuro, es probable que los robots programados para llevar a cabo una tarea den con nuevas soluciones a problemas y, al hacerlo, creen resultados o productos físicos o intangibles que podrían, al menos en teoría, percibirse como propiedad intelectual – nuevas invenciones, obras creativas o marcas, por ejemplo.

Este elemento de la innovación en robótica podría plantear cuestiones interesantes en relación con la organización y los límites del sistema de P.I. actual. ¿Son patentables o susceptibles de protección por derecho de autor los objetos, códigos de programas informáticos u otros activos creados de forma autónoma por un robot? Si es así, ¿de qué manera? ¿Y quién sería el titular de esos derechos de P.I.? ¿El fabricante? ¿El usuario del robot? ¿El propio robot?¹³⁰ Algunos países como el Japón y la República de Corea están planteándose realmente la concesión de los derechos a las máquinas.

Queda fuera del ámbito del presente informe una evaluación jurídica completa de este asunto relativo a la creación autónoma por parte de robots, pero la cuestión de quién será el titular de los derechos de P.I. en relación con las creaciones concebidas por los robots será un tema que a buen seguro dará que hablar en el futuro.

128. Keisner *et al* (2015)

129. En el caso de Aibo, el perro robot de Sony, los usuarios descifraron el código del programa informático original, realizaron modificaciones y distribuyeron a otros consumidores el nuevo programa informático que les permitía “enseñar” al robot a bailar y hablar, entre otras cosas. Véase Mulligan y Perzanowski (2007).

130. Leroux (2012).

3.4 – Experiencia adquirida

En los estudios de caso sobre la impresión en 3D, la nanotecnología y la robótica se ofrecen diversas perspectivas del carácter y el ecosistema de las tres innovaciones actuales que pueden resultar revolucionarias. Al igual que en el capítulo 2, muchas de las perspectivas tienen que ver específicamente con las tecnologías en cuestión, por lo que no se pueden extraer conclusiones generales. Sin embargo, merece la pena señalar los puntos en común y las diferencias entre los tres casos, y ese es el objetivo de esta última sección. Para ello, se sigue la estructura de los estudios de caso, con lo que la atención se centra en primer lugar en la contribución al crecimiento de las innovaciones para abordar a continuación sus ecosistemas y, por último, la función de la P.I.

Contribución al crecimiento

Las tres innovaciones que se abordan en este capítulo ya han dejado su impronta en la actividad económica. Los robots industriales comenzaron a automatizar determinadas actividades manufactureras hace mucho tiempo, y la nanotecnología ya se ha incorporado a numerosos dispositivos electrónicos. ¿Qué potencial tienen estas dos tecnologías, así como la impresión en 3D, para impulsar el crecimiento futuro?

Podría parecer que estas innovaciones disponen de un amplio margen para mejorar la productividad en la actividad manufacturera. Sin embargo, dada la dimensión relativamente pequeña del sector de la fabricación en la mayoría de las economías (véase la sección 1.1), la contribución al crecimiento económico general resultante puede ser pequeña. Una incidencia más notable en el crecimiento puede provenir de los nuevos productos resultantes de estas innovaciones que encuentren aplicación en la economía – especialmente en el sector de servicios. Además, como se ha demostrado en los estudios de caso, el uso creciente de impresoras tridimensionales y robots inteligentes tal vez provoque la reorganización de las cadenas de suministro, lo que posiblemente dé lugar a un importante aumento de la eficacia. La historia apunta a que se requerirían diversas formas de innovación complementaria, nuevos modelos comerciales y el desarrollo de nuevas aptitudes para conseguir el potencial de crecimiento implícito. Asimismo, la difusión de estas innovaciones dependerá de la dinámica competitiva, el acceso a

financiación, la fijación de normas y los reglamentos técnicos, entre otros factores determinantes.

Tal y como se explica en la sección 1.5, algunos economistas muestran su preocupación con respecto a que las nuevas tecnologías actuales no generen una gran demanda de nuevas inversiones – con lo que posiblemente se contribuya al entorno de bajos tipos de interés existente en muchas economías avanzadas. Las preocupaciones se han expresado de forma más común en relación con las TIC, y es difícil evaluar cómo les irá a la impresión en 3D, la nanotecnología y la robótica en este sentido.¹³¹ Podría argumentarse que ninguna de estas tres tecnologías requiere nuevas infraestructuras con uso intensivo de capital en comparación con tecnologías de uso general anteriores como el ferrocarril, los automóviles, la electricidad o las telecomunicaciones. No obstante, mucho dependerá del desarrollo, la capacidad y el grado de aprovechamiento de las innovaciones. Las nuevas tecnologías potentes que encuentran numerosas aplicaciones en la economía pueden generar una demanda importante de inversión, incluso demanda de capital intangible.

También existe mucha incertidumbre sobre cómo se difundirán las tres tecnologías en las economías en desarrollo. En la medida en que tecnologías como la impresión en 3D y la robótica generen ahorros mediante la reducción de los insumos de trabajo, podría haber menos incentivos para adoptarlas en economías en las que los costos de la mano de obra son relativamente bajos. Sin embargo, esos incentivos están destinados a diferir entre distintos sectores y países, y en función de la manera en que resulten ser las nuevas tecnologías con uso intensivo de capital. Además, determinadas aplicaciones de las tres innovaciones pueden atender necesidades especiales de economías en desarrollo. Por ejemplo, las impresoras 3D pueden tener usos especiales en ámbitos remotos aislados de los canales tradicionales de distribución. De manera similar, la nanotecnología parece prometedora para mejorar la seguridad alimentaria, la bioseguridad y la sostenibilidad del medio ambiente. Si esa promesa se llega a cumplir, la historia apunta a que será importante que los países de ingresos bajos y medianos desarrollen la capacidad de absorción necesaria para aprovechar cualquier oportunidad tecnológica que se presente.

Ecosistemas de innovación

Resulta interesante que los ecosistemas en los que prosperan las tres innovaciones muestran muchas similitudes con las innovaciones históricas que se presentan en el capítulo 2. La financiación gubernamental ha sido decisiva para ampliar la frontera del conocimiento científico, ya que ha allanado el camino para que las empresas exploren oportunidades comerciales. Los gobiernos también han desempeñado su papel en el traslado de las tecnologías prometedoras del laboratorio de investigación al mercado, especialmente mediante la generación de demanda en el mercado. Sin embargo, este papel parece haber sido más importante en el ámbito de la robótica que en los de la impresión en 3D y la nanotecnología, lo que refleja en buena parte el uso de la robótica con fines de defensa nacional. La fuerzas competitivas del mercado, en cambio, han sido decisivas al proporcionar incentivos para la I+D privada, la adaptación de las nuevas tecnologías para la producción a gran escala y el desarrollo de productos para satisfacer las necesidades de los distintos consumidores. Asimismo, como en los casos históricos, el ecosistema de las innovaciones actuales ha experimentado una mayor especialización con el paso del tiempo, por un lado, en respuesta a los desafíos tecnológicos cada vez más complejos y, por otro, para centrarse en aplicaciones específicas de la tecnología.

No obstante, también existen diferencias importantes. Para empezar, el sistema de la ciencia y los vínculos formales entre las instituciones científicas y las empresas parecen ser más importantes hoy en día de lo que lo fueron en el pasado. Por ejemplo, el porcentaje de universidades que presentan solicitudes de patente varía entre el 15 y el 40% entre las tres tecnologías examinadas en este capítulo. Esto tal vez se refleje en parte en los esfuerzos realizados en materia de políticas a fin de aprovechar mejor los resultados de la investigación científica para el desarrollo comercial. No obstante, podría decirse que esos esfuerzos reconocen la función decisiva que desempeña la investigación preliminar a la hora de permitir el avance tecnológico posterior.

131. Véase Baldwin y Teulings (2015)

Asimismo, mientras que la mayor parte de la I+D pública y privada sigue concentrada en un número relativamente pequeño de economías, el conjunto de economías innovadoras se ha ampliado durante la pasada década para incluir a varios países de Asia Oriental. Dada la dimensión de su economía, cabe destacar especialmente el reciente auge de China como origen de importantes inversiones en I+D. En los tres estudios de caso que se han presentado en este capítulo se indica que las entidades de China innovan activamente en los ámbitos de la impresión en 3D, la nanotecnología y la robótica. Es interesante observar que los datos sobre las solicitudes de patente indican que el panorama de la innovación de China difiere de forma importante de otras economías con uso intensivo de I+D: universidades e instituciones públicas de investigación acaparan un porcentaje mucho mayor de actividad de patentamiento en China que en la mayoría del resto de economías, alcanzando hasta el 80% en el campo de la nanotecnología. Esto puede sugerir una capacidad más limitada en I+D en las empresas de China, lo cual tal vez implique un índice inferior de comercialización de la tecnología. A su vez, como se ha demostrado en los casos históricos, una base científica sólida puede generar, a largo plazo, nuevas empresas y sectores una vez que se produzcan los avances tecnológicos.

La función de la P.I.

En lo que se refiere a la función que desempeña el sistema de P.I., de nuevo parece que hay puntos en común y diferencias con respecto a los casos históricos que se han relatado en el capítulo 2. Para empezar, como en sus homólogos históricos, los innovadores en los ámbitos de la impresión en 3D, la nanotecnología y la robótica se han valido de manera intensiva del sistema de patentes para proteger los frutos de sus actividades de investigación. Aunque ha de tenerse en mente la ausencia de datos realmente hipotéticos, en los tres estudios de caso se sugiere que el sistema de patentes ha desempeñado una función útil en lo que se refiere a recuperar la inversión en I+D, favorecer la continuidad de la innovación por medio de la divulgación de la tecnología y facilitar la especialización.

A pesar del gran volumen de solicitudes de patente presentadas y de las inquietudes expresadas por algunos observadores acerca de la posible existencia de marañas de patentes, el número de conflictos relativos a los derechos de P.I. parece ser relativamente bajo. En el caso de la impresión en 3D y la robótica, han prosperado las comunidades de código abierto junto a más enfoques de derechos de propiedad en relación con la gestión de los conocimientos. En general, el sistema de P.I. parece haber contemplado y apoyado diferentes mecanismos que facilitan el intercambio de conocimientos. A su vez, al igual que con los antiguos clubes de inventores en el caso de los aviones, las normas sociales parecen ser importantes para regular el intercambio de conocimientos en el seno de las diferentes comunidades de innovación de hoy en día.

Sin embargo, es importante tener en mente que muchas de las tecnologías que se han abordado en este capítulo aún están en una etapa relativamente temprana de desarrollo y algunas todavía no se han llegado a comercializar. Conforme aumenta el interés comercial, la historia sugiere que podrían aumentar los conflictos relativos a los derechos de P.I. Los encargados de la formulación de políticas por lo tanto están sobre aviso para garantizar un equilibrio constante en el sistema de P.I. que incentive la creación de conocimientos sin restringir demasiado la continuidad de la innovación. Como ocurre en los casos históricos, los tribunales tal vez se enfrenten, en algún momento, a cuestiones de gran alcance acerca de la patentabilidad de nuevas tecnologías emergentes. Tales cuestiones ya se han planteado por ejemplo en relación con la patentabilidad de productos en el ámbito de la nanotecnología que existan como un producto de la naturaleza, o la patentabilidad de los programas informáticos en el campo de la robótica.

Otro punto en común con los casos históricos concierne a las actividades de patentamiento en países de ingresos bajos y medianos. Aunque las relaciones comerciales internacionales son más fuertes ahora que hace un siglo, los innovadores de los tres casos han solicitado mayoritariamente protección por patente en los países de ingresos altos, en los que tiene lugar el grueso de la innovación en impresión en 3D, nanotecnología y robótica. Solamente un pequeño porcentaje de primeras solicitudes de patente presentadas en los sectores tecnológicos pertinentes tuvieron equivalentes en economías de ingresos bajos y medianos. A tenor de los datos, esta distribución de solicitudes de derechos de P.I. de nuevo sugiere que la difusión de tecnologías vendrá determinada principalmente por el grado de capacidad de absorción de las economías receptoras.

Por último, los tres estudios de caso han revelado varias consideraciones nuevas que sin duda conformarán las políticas de P.I. en el futuro. Entre ellas figuran las siguientes:

- El derecho de autor es cada vez más pertinente para la innovación tecnológica. Para empezar, gracias a la inclusión de los programas informáticos como materia susceptible de protección por derecho de autor. Conforme los programas informáticos se han convertido en una característica integral de numerosas tecnologías nuevas – entre ellas las impresoras tridimensionales y los robots –, así se ha ampliado el papel del derecho de autor. Además, el derecho de autor protege cualquier tipo de expresión digital, incluidos los diseños de objetos en 3D y el diseño de circuitos integrados.¹³² Hasta ahora no ha quedado claro si esta tendencia significa simplemente un cambio en la utilización de diferentes formas de P.I. o si plantea desafíos de política esencialmente nuevos.
- La aparición de la impresión en 3D de bajo costo tiene el potencial de permitir la reproducción sencilla de cualquier objeto que pueda estar protegido por la legislación en materia de diseño industrial y posiblemente por otros derechos de P.I. ¿Dificultará este desarrollo la observancia de esos derechos – al igual que hizo la revolución digital con la protección por derecho de autor de libros, música, películas y otras obras creativas? Una situación así tal vez siga estando lejos, y existen diferencias importantes entre las copias en el ámbito de la impresión en 3D y las de contenido digital. No obstante, como se argumenta en el análisis de la sección 3.1.3, de la experiencia vivida en el sector del contenido digital se extraen enseñanzas valiosas sobre la mejor manera de abordar una situación de ese tipo.
- Los secretos comerciales siempre han sido una forma importante – aunque no muy visible – de protección de la P.I. Aunque en los tres estudios de caso se ofrecen solamente pruebas sugestivas, hay razones para creer que la política en materia de secretos comerciales ha cobrado importancia. Esto principalmente se debe a que ha aumentado la movilidad de los trabajadores del conocimiento.¹³³ A pesar del fácil acceso a los conocimientos codificados, las personas siguen siendo decisivas para darle un uso eficaz a dichos conocimientos. Por lo tanto, la regulación de la manera en que fluyan los conocimientos entre las personas determinará los resultados de la difusión de la innovación y la tecnología.

132. Véase la sección 2.3.3 sobre la función que desempeña el derecho de autor en la protección de los diseños de chips.

133. Para obtener pruebas que se basan en los inventores enumerados en los documentos de patentes, véase Miguelez y Fink (2013).

Referencias

- Baldwin, R., & Teulings, C. (2015). Introduction. In C. Teulings & R. Baldwin (Eds.), *Secular Stagnation: Facts, Causes, and Cures*. London: CEPR.
- Banwatt, P. (2013, July 14). 3D Printing Law: Trademarks -- Why "FDM" isn't for everybody. <http://lawit.com/3d-printing-law-trademarks-why-fdm-isnt-for-everybody/>
- Bawa, R. (2004). Nanotechnology Patenting in the US. *Nanotechnology Law and Business*, 1(1), 31-50.
- Bawa, R. (2007). Nanotechnology Patent Proliferation and the Crisis at the U.S. Patent Office. *Albany Law Journal of Science and Technology*, 17(3), 699-735.
- Bechthold, L., Fischer, V., Hainzmaier, A., Hugenroth, D., Ivanova, L., Kroth, K., et al. (2015). *3D Printing: A Qualitative Assessment of Applications, Recent Trends and the Technology's Future Potential*.
- Bechtold, S. (2015). 3D Printing and the Intellectual Property System. *WIPO Economic Research Working Paper No. 28*.
- Bleeker, R. A., Troilo, L. M., & Ciminello, D. P. (2004). Patenting Nanotechnology. *Materials Today*, 7(2), 44-48.
- Bonaccorso, F., Colombo, L., Yu, G., Stoller, M., Tozzini, V., Ferrari, A. C., et al. (2015). Graphene, related two-dimensional crystals, and hybrid systems for energy conversion and storage. *Science*, 347(6217).
- Brynjolfsson, E., & McAfee, A. (2014). *The Second Machine Age: Work Progress, and Prosperity in a Time of Brilliant Technologies*. New York: W. Norton & Company.
- Campbell, I., Bourell, D., & Gibson, I. (2012). Additive Manufacturing: *Rapid Prototyping Comes of Age, Rapid Prototyping Journal* (Vol. 18, pp. 255-258).
- Chen, C., Roco, M. C., Son, J., Jiang, S., Larson, C. A., & Gao, Q. (2013). Global Nanotechnology Development from 1991 to 2012: Patents, Scientific Publications, and Effect of NSF Funding. *Journal of Nanoparticle Research*, 15(9), 1951.
- Clinic Staff. (2013, January 25). Crowdsourcing Prior Art for 3D Printing. <http://blogs.law.harvard.edu/cyberlawclinic/2013/01/25/crowdsourcing-prior-art-for-3d-printing/>
- De Volder, M. F. L., Tawfick, S. H., Baughman, R. H., & Hart, A. J. (2013). Carbon Nanotubes: Present and Future Commercial Applications. *Science*, 339(6119), 535-539.
- Desai, D. R., & Magliocca, G. N. (2014). Patents, Meet Napster: 3D Printing and the Digitization of Things, *Georgetown Law Journal* (Vol. 102, pp. 1691-1720).
- euRobotics (2014). *Strategic research agenda for robotics in Europe 2014-2020*. Retrieved August 10, 2015, from www.eu-robotics.net/cms/upload/PPP/SRA2020_SPARC.pdf
- Expertenkommission Forschung und Innovation. (2015). *Gutachten zu Forschung, Innovation und technologischer Leistungsfähigkeit Deutschlands 2015*. Unpublished manuscript.
- Fernández-Ribas, A. (2010). International Patent Strategies of Small and Large Firms: An Empirical Study of Nanotechnology. *Review of Policy Research*, 27(4), 457-473.
- Freeman, C. (2013, July 14). Why did RepRap pick FDM and not other 3D printing technique? <http://reprage.com/post/44316648000/why-did-reprap-pick-fdm-and-not-another-3d-printing/>
- Frey, C. B., & Osborne, M. A. (2013). *The future of employment: How susceptible are jobs to computerisation?* Oxford: Oxford University.
- Ganguli, P., & Jabade, S. (2012). *Nanotechnology Intellectual Property Rights: Research, Design, and Commercialization*. Boca Raton: CRC Press.
- Genet, C., Errabi, K., & Gauthier, C. (2012). Which Model of Technology Transfer for Nanotechnology? A Comparison with Biotech and Microelectronics. *Technovation*, 32(3-4), 205-215.
- Ghilassene, F. (2014). *L'impression 3D: Impacts Economique et Enjeux Juridiques*: Institut National de la Propriété Industrielle.
- Green, T. (2013). Rising Power and Influence of Robotics Clusters. *Robotics Business Review*, February 22, 2013.
- Hemel, D. J., & Ouellette, L. L. (2013). Beyond the Patents-Prize Debate. *Texas Law Review*, 92, 303-382.
- Huang, C., & Wu, Y. (2012). State-led Technological Development: A Case of China's Nanotechnology Development. *World Development*, 40(5), 970-982.
- Innovative Manufacturing CRC (2015). New Industry-led centre to help transform Australian manufacturing [Press Release]. Retrieved from www.imcrc.org/media-release---imcrc-funding-announcement-26-may-2015.html.
- IFR. Service Robots. Retrieved August 3, 2015, from International Federation of Robotics: www.ifr.org/service-robots/
- IFR. (2012). *History of Industrial Robots: From the first installation until today*. Frankfurt am Main: International Federation of Robotics.
- IFR. (2014a). *World Robotics 2014 Industrial Robots*. Frankfurt am Main: International Federation of Robotics.
- IFR. (2014b). *World Robotics 2014 Service Robots*. Frankfurt am Main: International Federation of Robotics.
- Jones, R., Haufe, P., Sells, E., Iravani, P., Olliver, V., Palmer, C., et al. (2011). RepRap: the Replicating Rapid Prototyper, *Robotica* (Vol. 29, pp. 177-191).
- Jong, J. P. J., & Bruijn, E. d. (2013). Innovation Lessons from 3-D Printing, *MIT Sloan Management Review* (Vol. 54, pp. 43-52).
- Keisner, A. C. (2013). Keeping Things Confidential: Robotics Trade Secrets 1.0. *Robotics Business Review*, October 21, 2013.

- Keisner, A. C., Raffo, J., & Wunsch-Vincent, S. (2015). Breakthrough technologies – robotics, innovation and intellectual property. *WIPO Economic Research Working Paper No. 30*.
- King, D. L., Babasola, A., Rozario, J., & Pearce, J. M. (2014). Mobile Open-Source Solar-Powered 3-D Printers for Distributed Manufacturing in Off-Grid Communities. *Challenges in Sustainability, 2*, 18027.
- Kreiger, M., & Pearce, J. M. (2013). Environmental Life Cycle Analysis of Distributed Three-Dimensional Printing and Conventional Manufacturing of Polymer Products, *ACS Sustainable Chemistry & Engineering* (Vol. 1, pp. 1511-1519).
- Kumaresan, N., & Miyazaki, K. (1999). An integrated network approach to systems of innovation—the case of robotics in Japan. *Research Policy, 28*(6), 563-585.
- Langnau, L. (2014, Oct. 6). Will We 3D-Print Electric Motors? Make Parts Fast: A Design World Resource.
- Lemley, M. A. (2005). Patenting Nanotechnology. *Stanford Law Review, 58*(2), 601-630.
- Lemley, M. A. (2014). *IP in a World Without Scarcity*. Unpublished manuscript.
- Leroux, C. (2012). *EU Robotics Coordination Action: A green paper on legal issues in robotics*. Paper presented at the International Workshop on Autonomics and Legal Implications.
- Lipson, H. (2005, May). Homemade: The Future of Functional Rapid Prototyping. *IEEE Spectrum, 24*-31.
- Lipson, H., & Kurman, M. (2013). *Fabricated: The New World of 3D Printing*. Indianapolis: Wiley.
- Lux Research Inc. (2007). *The Nanotech Report* (5th ed. Vol. 1-3).
- Lux Research Inc. (2014). *Nanotechnology Update: Corporations Up Their Spending as Revenues for Nano-Enabled Products Increase*.
- Malone, E., & Lipson, H. (2006, August). *Fab@Home: The Personal Desktop Fabricator Kit*. Paper presented at the 17th Solid Freeform Fabrication Symposium, Austin, Texas.
- McGurk, M. R., & Mandy, J. (2014). Building a Strong Robotics IP Portfolio. Retrieved December 2014: www.finnegan.com/resources/articles/articlesdetail.aspx?news=89c6e508-ddb1-46f4-895d-aa4521c64811
- McKinsey Global Institute. (2013). *Disruptive Technologies: Advances that will Transform Life, Business, and the Global Economy*.
- Mendis, D., Secchi, D., & Reeves, P. (2015). A Legal and Empirical Study into the Intellectual Property Implications for 3D Printing: Executive Summary. *Research Commissioned by the Intellectual Property Office No. 2015/41*.
- Metra Martech. (2011). *Positive Impact of Industrial Robots on Employment*. London: Metra Martech Limited.
- Migueluez, E., & Fink, C. (2013). Measuring the International Mobility of Inventors: a New Dataset. *WIPO Economic Research Working Paper Series No. 8*.
- Miller, B., & Atkinson, R. D. (2013). *Are Robots Taking Our Jobs, or Making Them?* Washington, D.C.: The Information Technology and Innovation Foundation.
- Mireles, M. S. (2006). States as Innovation System Laboratories: California, Patents, and Stem Cell Technology. *Cardozo Law Review, 1133*(374).
- Mokyr, J. (2014). Secular Stagnation? Not in Your Life. In C. Teulings & R. Baldwin (Eds.), *Secular Stagnation: Facts, Causes and Cures*. London: CEPR Press.
- Monthioux, M., & Kuznetsov, V. L. (2006). Who Should Be Given the Credit for the Discovery of Carbon Nanotubes? *Carbon, 44*(9), 1621-1623.
- Mulligan, D. K., & Perzanowski, A. K. (2007). The Magnificence of the Disaster: Reconstructing the Sony BMG Rootkit Incident. *Berkeley Technology Law Journal, 22*(1157), 151.
- Muzumdar, M. (2014, July 14). Shapeways in 2014: A year in 3D printing and what's next for 2015. www.shapeways.com/blog/archives/19390-shapeways-in-2014-a-year-in-3d-printing-and-whats-next-for-2015.html
- Nadan, C. H. (2002). Open Source Licensing: Virus or Virtue? *Texas Intellectual Property Law Journal, 10*, 349-378.
- National Research Council. (2013). *Triennial Review of the National Nanotechnology Initiative*. Washington, D.C.: National Research Council.
- Nof, S. Y. (1999). *Handbook of Industrial Robotics*. West Sussex Wiley.
- OECD. (2011). The International Experience with R&D Tax Incentives, *Tax Reform Options: Incentives for Innovation*: United States Senate Committee on Finance.
- Ouellette, L. L. (2015). Economic Growth and Breakthrough Innovations: A Case Study of Nanotechnology. *WIPO Economic Research Working Paper No. 29*.
- Prinz, F. B., Atwood, C. L., Aubin, R. F., Beaman, J. J., Brown, R. L., Fussell, P. S., et al. (1997). *JTEC/WTEC Panel on Rapid Prototyping in Europe and Japan*.
- PwC, & M Institute. (2014). *3D Printing and the New Shape of Industrial Manufacturing*: PricewaterhouseCooper.
- Rayna, T., & Striukova, L. (2014). The Impact of 3D Printing Technologies on Business Model Innovation. In P. J. Benghozi, D. Krob, A. Lonjon & H. Panetto (Eds.), *Digital Enterprise Design & Management* (Vol. 261, pp. 119-132): Springer International Publishing.
- Roco, M. C., Mirkin, C. A., & Hersam, M. C. (2010). *Nanotechnology Research Directions for Societal Needs in 2020: Retrospective and Outlook*. Boston: Springer.
- Rosheim, M. E. (1994). *Robot Evolution: The Development of Anthropotics*: John Wiley & Sons, Inc.
- Sabety, T. (2004). Nanotechnology Innovation and the Patent Thicket: Which IP Policies Promote Growth? *Nanotechnology Law and Business, 1*(3), 262-283.
- Samuels, J. (2013). EFF's Fight for Open 3D Printing Continues at Ask Patents. www.eff.org/deeplinks/2013/03/effs-fight-open-3d-printing-continues-askpatentscom

- Scheinman, V. (2015). Robotics History Narratives. Interview retrieved from <http://robotichistory.indiana.edu/content/vic-scheinman>
- Shapiro, C. (2003). Antitrust analysis of patent settlements between rivals *The RAND Journal of Economics*, 34(2), 391-411.
- Sieglwart, R. (2015). Report for WIPO on intellectual property and robotics. *Unpublished background report for the World Intellectual Property Report 2015*.
- Smalley, L. W. (2014). Will Nanotechnology Products be Impacted by the Federal Courts' 'Products of Nature' Exception to Subject-Matter Eligibility Under 35 U.S.C. 101? *John Marshall Review of Intellectual Property*, 13(2), 397-443.
- Smith, R. C., & Cheeseman, P. (1986). On the Representation and Estimation of Spatial Uncertainty. *The International Journal of Robotics Research*, 5(4), 56-68.
- Sparapani, T. (2015, June 19). Surgical robotics and the attack of the patent trolls. *Forbes*.
- Springer, P. J. (2013). *Military Robots and Drones: A Reference Handbook*. Santa Barbara: ABC-CLIO
- Sylvester, J. D., & Bowman, D. M. (2011). Navigating the Patent Landscapes for Nanotechnology: English Gardens or Tangled Grounds? In S. J. Hurst (Ed.), *Biomedical Nanotechnology: Methods and Protocols* (pp. 359-378). Totowa: Springer.
- Subcommittee on Nanoscale Science, Engineering, and Technology, Office of Science and Technology Policy. (2015). *The National Nanotechnology Initiative Supplement to the President's 2015 Budget*, available at: www.whitehouse.gov/sites/default/files/microsites/ostp/NNI_FY15_Final.pdf.
- Thayer, L., & Bhattacharyya, A. (2014a). Patent Eligibility of Software in the Wake of the Alice Corp. v. CLS Bank Decision *Robotics Business Review*, August 14, 2014.
- Thayer, L., & Bhattacharyya, A. (2014b). Will Supreme Court Rein in Software Patents? *Robotics Business Review*, March 4, 2014.
- The Fab Foundation. (2015). Fab Labs World Map. Retrieved August 10, 2015: www.fablabs.io/map
- Tobe, F. (2015). The Robot Report's Global Map. Retrieved August 10, 2015: www.therobotreport.com/map
- UKIPO. (2014). *Eight Great Technologies - Robotics and Autonomous Systems: A patent overview*. London: UK Intellectual Property Office.
- West, J., & Kuk, G. (2014). Proprietary Benefits from Open Communities: How MakerBot Leveraged Thingiverse in 3D Printing. SSRN.
- Wintergreen Research Inc. (2015). *Surgical Robots Market Shares, Strategies, and Forecasts, Worldwide, 2015 to 2021*. Dublin: Research and Markets.
- WIPO. (2011). *World Intellectual Property Report 2011: The Changing Face of Innovation*. Geneva: World Intellectual Property Organization.
- Wittbrodt, B. T., Glover, A. G., Laureto, J., Anzalone, G. C., Oppliger, D., Irwin, J. L., et al. (2013). Life-cycle Economic Analysis of Distributed Manufacturing with Open-source 3-D Printers, *Mechatronics* (Vol. 23, pp. 713-726).
- Wohlers Associates. (2014). *Wohlers Report 2014: 3D Printing and Additive Manufacturing State of the Industry: Annual Worldwide Progress Report*.
- Yen-Tzu, C., & Hsin-Ning, S. (2014, 27-31 July 2014). *Understanding patent portfolio and development strategy of 3D printing technology*. Paper presented at the Portland International Conference for Management of Engineering and Technology (PICMET), Kanazawa.

Abreviaturas y siglas

3D	Tridimensional	OCDE	Organización de Cooperación y Desarrollo Económicos
ADN	Ácido desoxirribonucleico	OMPI	Organización Mundial de la Propiedad Intelectual
ADPIC	Acuerdo sobre los Aspectos de los Derechos de Propiedad Intelectual relacionados con el Comercio	ONU	Naciones Unidas
ARPA-E	<i>Advanced Research Project Agency-Energy</i>	P.I.	Propiedad intelectual
ASTM	<i>American Society for Testing and Materials</i>	PIB	Producto Interno Bruto
AT&T	<i>American Telephone & Telegraph</i>	PTF	Productividad total de los factores
BEA	<i>Bureau of Economic Analysis</i>	SCPA	Ley de Protección de Chips Semiconductores
CARG	Tasa de crecimiento anual compuesto	STL	<i>Standard tessellation language (estereolitografía)</i>
CIP	Clasificación Internacional de Patentes	TIC	Tecnologías de la información y de las comunicaciones
DARPA	<i>Defense Advanced Research Projects Agency</i>	TNO	<i>Netherlands Organisation for Applied Scientific Research</i>
EE.UU.	Estados Unidos de América	UE	Unión Europea
FDA	Administración de Alimentos y Medicamentos de los EE.UU.	UK	Reino Unido
FMI	Fondo Monetario Internacional	UKIPO	Oficina de Propiedad Intelectual del Reino Unido
I+D	Investigación y desarrollo	UNECE	Comisión Económica de las Naciones Unidas para Europa
IBM	<i>The International Business Machines Corporation</i>	USD	Dólar de los Estados Unidos de América
IED	Inversión extranjera directa	USDA	Departamento de Agricultura de los EE.UU.
IFR	Federación Internacional de Robótica	USPTO	Oficina de Patentes y Marcas de los Estados Unidos de América
MAA	<i>Manufacturer's Aircraft Association</i>	XML	Lenguaje extensible de marcado
MIT	<i>Massachusetts Institute of Technology</i>		
MITI	Ministerio de Industria y Comercio Internacional		
NACA	<i>National Advisory Committee on Aeronautics</i>		
NASA	Administración Nacional de Aeronáutica y del Espacio		
NEC	<i>Nippon Electric Company</i>		

Notas técnicas

GRUPOS DE PAÍSES, POR INGRESOS

El presente Informe se basa en la clasificación de las economías mundiales en función de los ingresos realizada por el Banco Mundial en 2014, para referirse a determinados grupos de países. Dicha clasificación se basa en el ingreso nacional bruto per cápita y en ella se establecen los cuatro grupos siguientes: economías de ingresos bajos (1.045 dólares de los EE.UU. (USD) o menos); economías de ingresos medianos bajos (1.046 USD a 4.125 USD); economías de ingresos medianos altos (4.126 USD a 12.736 USD); y economías de ingresos altos (12.736 USD o más).

En la dirección <http://data.worldbank.org/about/country-classifications> se ofrece más información acerca de esa clasificación.

ANÁLISIS DE LA ACTIVIDAD DE PATENTAMIENTO

Los estudios de casos de los capítulos 2 y 3 se basan en un análisis de la actividad de patentamiento realizado especialmente para el presente informe. Los datos sobre patentes de ese análisis proceden de la base de datos estadísticos de la OMPI y de la Base de Datos Mundial sobre Estadísticas de Patentes (PATSTAT, abril de 2015) de la OEP. A continuación figuran los elementos metodológicos esenciales en los que se basa el análisis de la actividad de patentamiento:

Unidad de análisis

La principal unidad de análisis es la primera solicitud de patente presentada para una invención determinada.¹³⁴ En consecuencia, la fecha de referencia para el cómputo de las patentes es la fecha de primera presentación. En el caso de algunos registros históricos, por ejemplo, los anteriores a 1930 en los documentos de la USPTO, falta la fecha de presentación de la solicitud. En esos casos, se ha utilizado la fecha de presentación posterior más temprana o la fecha de concesión de la primera solicitud presentada. El origen de la invención se atribuye al primer solicitante de la primera solicitud presentada; en los casos en que faltaba esa información se ha aplicado una estrategia de imputación, como se describe más adelante.

Solo nos hemos apartado de este método al analizar el porcentaje de familias de patentes respecto de las que se solicita protección en cada oficina de patentes (véanse las figuras 2.6, 3.5, 3.10 y 3.14). En este caso, se ha empleado una definición de familia de patentes ampliada, que lleva el nombre de familia de patentes INPADOC, en lugar de la que se basa en las primeras solicitudes presentadas. Además, solo se han tenido en cuenta para el presente análisis las familias de patentes que tienen al menos una solicitud concedida, y la fecha de referencia es la fecha de la primera presentación dentro de la misma familia ampliada. La razón principal de utilizar la definición de familia de patentes ampliada e imponer al menos la existencia de una patente concedida dentro de la familia es evitar que se subestimen las cifras a consecuencia de la complejidad de las estructuras que adoptan las solicitudes presentadas posteriormente, como las de continuación y divisionales, y de las familias de patentes pequeñas de menor calidad, como las que se han presentado en un solo país y han sido rechazadas o se han retirado antes del examen.

Imputación de los datos del país de origen

Cuando faltaba la información sobre el país de residencia del primer solicitante en la primera solicitud presentada, se ha adoptado la siguiente secuencia: i) extraer la información sobre el país de la dirección del solicitante; ii) extraer la información sobre el país del nombre del solicitante (véase más adelante); iii) hacer uso de la información de las empresas correspondientes (como se describe más adelante); iv) basarse en el país de residencia más frecuente del primer solicitante dentro de la misma familia de patentes (mediante la definición de familia de patentes ampliada); v) basarse en el país de residencia más frecuente del primer inventor dentro de la misma familia de patentes (también en este caso, mediante la definición de familia de patentes ampliada); y vi) en el caso de algunos registros históricos restantes, considerar la oficina de P.I. de primera presentación como indicativa del origen.

134. En el análisis figuran datos sobre los modelos de utilidad en la medida en que están disponibles.

Depuración de los nombres de los solicitantes y asignación de tipos de solicitantes

Se ha clasificado a los solicitantes en tres amplias categorías: a) *Empresas*, entre las que figuran sobre todo empresas privadas y corporaciones, pero también empresas estatales; b) *Universidad y sector público*, en la que figuran las universidades públicas y privadas (y sus administradores y consejos rectores), organizaciones públicas de investigación y otras instituciones gubernamentales como ministerios, dependencias administrativas del Estado y entidades afines; c) *particulares*, que abarca los primeros solicitantes a título individual, quienes pueden estar afiliados o no a empresas, universidades u otras entidades. Otra categoría, d) *No disponible*, engloba los primeros solicitantes no clasificados en las demás categorías.

A fin de asignar amplias categorías de tipos a cada primer solicitante, se ejecutó una serie de operaciones automatizadas en cada uno de los seis ámbitos de la innovación en que se basan los estudios de casos, a fin de depurar y armonizar los nombres de los solicitantes. Los resultados de ese proceso se verificaron manualmente, especialmente en el caso de los solicitantes principales de cada tipo, dando lugar a la revisión de la estrategia y al ajuste de los parámetros en varias iteraciones.

El punto de partida ha sido la información original acerca del nombre del primer solicitante tomada de la primera solicitud presentada. Cuando faltaba este nombre, se ha tenido en cuenta el nombre del primer solicitante más frecuente dentro de la misma familia de patentes utilizando la definición ampliada. Esta lista depurada de nombres de primeros solicitantes se ha analizado automáticamente en varias iteraciones a fin de: i) armonizar las mayúsculas y las minúsculas; ii) eliminar los símbolos y otra información redundante (como las palabras vacías y las siglas); iii) suprimir las referencias geográficas (utilizadas para mejorar la información sobre el país de residencia de los solicitantes); y iv) obtener cualquier información valiosa sobre los nombres de los solicitantes que reunieran los criterios necesarios para ser considerados a) *empresas* o b) tipos de *universidades y sector público*.

Posteriormente, se ha llevado a cabo una búsqueda aproximada –utilizando la función `matchit`¹³⁵ de Stata– con el fin de detectar variantes ortográficas y faltas de ortografía en los nombres de los solicitantes, y se han propagado los tipos en consecuencia. Además, gracias a los resultados obtenidos en el agrupamiento de las empresas (véase más adelante) también se ha podido recuperar algunos nombres de solicitantes no clasificados en calidad de *empresas*. Por último, los miembros de la categoría de *particulares* se han imputado únicamente al resto de registros no clasificados cuando figuraban como invenciones en la misma patente o se han señalado como particulares en la base de datos estadísticos de la OMPI en el caso de las familias de patentes que contenían una solicitud PCT. Del análisis de registros no clasificados se desprende que en la mayoría de ellos se omiten los nombres de los solicitantes en PATSTAT. La mayoría de esos nombres omitidos se refieren a documentos de patente originales que no figuran en caracteres latinos y respecto de los que posteriormente no se han presentado solicitudes de patente.

Agrupamiento de los solicitantes

En las clasificaciones expuestas en el capítulo 3 en las que figuran las tres innovaciones actuales se agrupan las solicitudes de patente presentadas por primeros solicitantes. En cada estudio de caso de las innovaciones se ha llevado a cabo el examen y el agrupamiento manual de los solicitantes más frecuentes. Los solicitantes que comparten un titular común se han agrupado en uno solo. En el caso de las 30 empresas principales responsables de cada innovación, se han usado los perfiles de titularidad de la base de datos *BvD*. Al efectuar el agrupamiento, únicamente se han tenido en cuenta las filiales que eran propiedad directa o indirecta de la empresa principal.

Estrategias para el análisis de la actividad de patentamiento

La estrategia para el análisis de la actividad de patentamiento de las seis innovaciones se basa en los datos existentes y en las sugerencias de los expertos. Cada estrategia se ha puesto a prueba al compararla en la medida de lo posible con las fuentes alternativas existentes.

¹³⁵ Disponible en el archivo de componentes informáticos estadísticos (SSC) del sitio web de la OMPI.

El análisis de la actividad de patentamiento en el ámbito de la impresión 3D se basa en la obra seminal de la UKIPO,¹³⁶ en la que se combinan los símbolos de la CPC y la CIP, por ejemplo, B29C 67/005 y B22F, con términos de textos buscados en títulos y resúmenes, como *fabricación aditiva, modelado por deposición fundida, sinterizado selectivo por láser y estereolitografía*.

El análisis de la actividad de patentamiento en el ámbito de los aviones se basa en las listas de patentes existentes compiladas en la labor seminal de Meyer (2010) y Short (2015), y en documentos públicos sobre el consorcio de patentes de la MAA y la cartera de patentes Curtiss-Wright.¹³⁷ Gracias a esas patentes se han podido determinar y evaluar los símbolos más pertinentes de la CIP y la CPC, a saber, el B64C y el B64B.

El análisis de la actividad de patentamiento en el ámbito de los antibióticos se basa en una combinación nueva de símbolos de la CPC y la CIP, por ejemplo, A61K 31/18, A61K 31/43 y A61K 31/7036, con una lista amplia de términos de textos buscados en títulos y resúmenes, como *sulfamida, penicilina y estreptomina*, entre otros tantos. La lista de términos se ha compilado a partir de la edición de 2015 del Índice ATC/DDD de la OMS, el Índice Merck (15ª edición) y el Libro Naranja de la FDA, entre otras fuentes.

La estrategia aplicada a la nanotecnología se basa en los símbolos B82Y y Y10S 977, incluidos los niveles inferiores. Esos niveles inferiores se explotan gracias a la distinción entre *herramientas de investigación, nano-electrónica y nano-materiales*.

La estrategia aplicada a la robótica se ha adaptado de la obra seminal de la UKIPO¹³⁸ en la que se combinan los símbolos de la CPC y la CIP, por ejemplo, B25J 9/16 u Y10S 901/00, con términos de textos buscados en títulos y resúmenes, como *robot y robótica*.

El análisis de la actividad de patentamiento en el ámbito de los semiconductores se basa en el símbolo H01L de la CIP y la CPC, incluidos los niveles inferiores.

136. Véase UKIPO (2013) *3D Printing: A Patent Overview*. Newport: Oficina de Propiedad Intelectual del Reino Unido.

137. Meyer, P. B. (2010). *Some Data on the Invention of the Airplane and the New Airplane Industry*. Manuscrito no publicado. Oficina de Productividad y Tecnología, Oficina de Estadísticas Laborales de los EE.UU., Washington, DC (EE.UU.).
Short, S. Simine. Base de datos de patentes de aviación de los EE.UU. 1799-1909. Extraído el 25 de agosto de 2015 de <http://invention.psychology.msstate.edu/PatentDatabase.html>

138. Véase UKIPO (2013) *Eight Great Technologies: Robotics and Autonomous Systems – A Patent Overview*. Newport: Oficina de Propiedad Intelectual del Reino Unido.

200 años de innovación y crecimiento

La búsqueda del ser humano de soluciones innovadoras ha impulsado el progreso de la humanidad y transformado el mundo. Tras dos siglos de innovaciones revolucionarias, el ingreso per cápita se multiplicó por 15 en las economías de frontera. En el **Informe mundial de propiedad intelectual de 2015**, publicado por la OMPI, se analizan seis tecnologías transformadoras y se estudia el papel que desempeña la propiedad intelectual en la innovación.

\$2.000

PIB per cápita (en dólares de los EE.UU. (\$) según valores de 1990)



1836 Locomotora de vapor

Primera patente numerada de Estados Unidos del motor de vapor para locomotora

1837 Telégrafo eléctrico

Cooke y Wheatstone patentan el telégrafo de cinco agujas



Foto: Gen

1858 Primer mensaje telegráfico transatlántico

1856 Siderurgia industrial

Bessemer patenta un avance en la fabricación de hierro y acero



1876 Teléfono

Bell patenta un avance en la telegrafía



1879 Lámpara eléctrica

Edison patenta la lámpara eléctrica



1897 Radio

Marconi patenta la transmisión de señales eléctricas



Foto: Smithsonian Institution

1911 Energía nuclear

Marie Curie gana su segundo Premio Nobel



Foto: Wellcome Library, London

1954 La central nuclear APS-1 genera electricidad para uso comercial

1925 Televisión

Jenkins patenta la "Transmisión inalámbrica de imágenes"



1952 Innovaciones en la Cadena de Suministro

Se patenta el código de barras



1953 Fabricación "justo a tiempo"

Toyota implementa el método Kanban de producción ajustada

1957 Energía sostenible

Se patentan las células solares



Foto: Depositphotos.com

1973 Telefonía móvil

Primera llamada por teléfono móvil



Foto: Rico Shan

1992 Se envía el primer mensaje de texto (SMS)

1987 Impresión en 3D

Se comercializan las impresoras 3D industriales



Foto: OMPI

2009 Se comercializan las impresoras 3D de bajo costo

Foto: Depositphotos.com

Foto: Depositphotos.com

Foto: John T. Duréles (US Library of Congress)

Foto: © IMM (FR 1468)

Foto: Frank Hoffman, DOE

Foto: KUKA Robotics

Foto: Depositphotos.com

Foto: Depositphotos.com

1856 **Plástico**
Se inventa, patenta y registra con el nombre *Parkesina* el primer plástico hecho por el hombre

1866 **Mejoramiento científico de plantas**
Publicación científica de Mendel sobre la hibridación de las plantas
1905
Se obtiene con éxito el primer híbrido de trigo de alto rendimiento

1879 **Automóviles**
Benz patenta el vehículo con motor de combustión interna
1908
Ford produce en masa el Ford T

1906 **Aviones**
Santos-Dumont vuela su avión 14-bis
Los hermanos Wright patentan la máquina voladora

1929 **Industria farmacéutica**
Fleming descubre la penicilina
1947
Producción en masa de penicilina

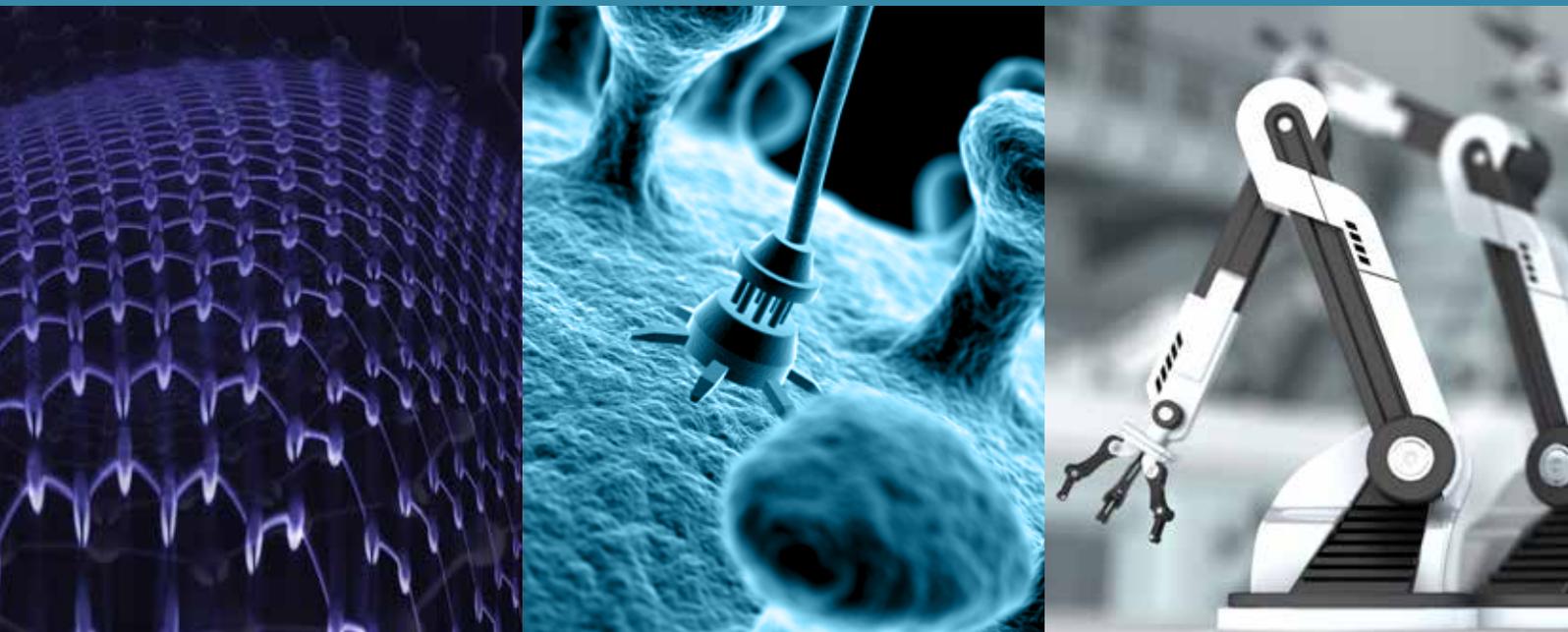
1950 **Semiconductores**
Los laboratorios Bell patentan el semiconductor
1977
Se vende la primera computadora Commodore PET

1954 **Robótica**
Primer robot industrial
1996
Deep Blue vence al campeón de ajedrez Kasparov

1969 **Internet**
Empieza a utilizarse la red ARPANET
1991
CERN crea la WWW (red informática mundial)

1981 **Nanotecnología**
Se crea el microscopio de sonda de barrido
2005
Se utiliza una bicicleta con cuadro de nanotubos en el Tour de France

Fuente: Informe Mundial sobre la Propiedad Intelectual 2015
Infografía: InfographicWorld/OMPI



Organización Mundial de la Propiedad Intelectual
34, chemin des Colombettes
P.O. Box 18
CH-1211 Ginebra 20
Suiza

Tel: +41 22 338 91 11
Fax: +41 22 733 54 28

Para los datos de contacto de las oficinas
de la OMPI en el exterior, visite:
www.wipo.int/about-wipo/es/offices/

Publicación de la OMPI N° 944S
ISBN 978-92-805-2738-4