

**Informe mundial sobre la  
propiedad intelectual 2019**

# **La geografía de la innovación: núcleos locales, redes mundiales**



**Informe mundial sobre la  
propiedad intelectual 2019**

# **La geografía de la innovación: núcleos locales, redes mundiales**

Salvo indicación contraria, esta obra está sujeta a una licencia de Creative Commons del tipo Atribución 3.0 organizaciones intergubernamentales.

Todo usuario puede reproducir, distribuir, adaptar, traducir y presentar en público la presente publicación, también con fines comerciales, sin necesidad de autorización expresa, a condición de que el contenido esté acompañado por la mención de la OMPI como fuente y, si procede, de que se indique claramente que se ha modificado el contenido original.

Sugerencia de cita: OMPI (2019). Informe mundial sobre la propiedad intelectual 2019: La geografía de la innovación: núcleos locales, redes mundiales. Ginebra: Organización Mundial de la Propiedad Intelectual.

Las adaptaciones/traducciones/productos derivados no deben incluir ningún emblema ni logotipo oficial, salvo que hayan sido aprobados y validados por la OMPI. Para obtener autorización, pónganse en contacto con nosotros mediante el sitio web de la OMPI.

En relación con las obras derivadas, debe incluirse la siguiente advertencia: “La Secretaría de la OMPI no asume responsabilidad alguna por la modificación o traducción del contenido original.”

En los casos en los que el contenido publicado por la OMPI, como imágenes, gráficos, marcas o logotipos, sea propiedad de terceros, será responsabilidad exclusiva del usuario de dicho contenido obtener de los titulares las autorizaciones necesarias.

Para consultar la presente licencia, remítanse a:  
<https://creativecommons.org/licenses/by/3.0/igo/>

Las denominaciones empleadas en esta publicación y la forma en que aparecen presentados los datos que contiene no entrañan, de parte de la OMPI, juicio alguno sobre la condición jurídica de ninguno de los países, territorios o zonas citados o de sus autoridades, ni respecto de la delimitación de sus fronteras o límites.

La presente publicación no refleja el punto de vista de los Estados miembros ni el de la Secretaría de la OMPI.

Cualquier mención de empresas o productos concretos no implica en ningún caso que la OMPI los apruebe o recomiende con respecto a otros de naturaleza similar que no se mencionen.

© OMPI, 2019

Organización Mundial de la Propiedad Intelectual  
34, chemin des Colombettes, P.O. Box 18  
CH-1211 Ginebra 20, (Suiza)

ISBN: 978-92-805-3097-1



Atribución 3.0 Organizaciones  
intergubernamentales  
(CC BY 3.0 IGO)

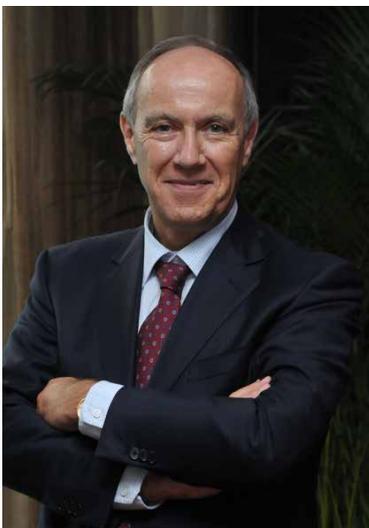
Impreso en Suiza

# Índice

<b>Prólogo</b>	<b>4</b>
<b>Agradecimientos</b>	<b>4</b>
<b>Resumen</b>	<b>8</b>
<b>Notas técnicas</b>	<b>137</b>
<b>Acrónimos</b>	<b>143</b>
<b>Capítulo 1</b>	
<b>La evolución de la geografía mundial de la innovación</b>	<b>17</b>
1.1 Concentración de la innovación en núcleos de innovación urbanos	18
1.2 Las redes y la difusión global de la innovación	25
1.3 Conclusiones	29
<b>Capítulo 2</b>	
<b>Las redes mundiales de los núcleos de innovación</b>	<b>35</b>
2.1 Las dos caras de la producción mundial de conocimientos	37
2.2 Redes mundiales de colaboración y contratación	46
2.3 Innovación local y redes mundiales de centros de innovación	53
2.4 Conclusiones	59
<b>Capítulo 3</b>	
<b>Empresas de automoción y de tecnología – el impulso al vehículo autónomo</b>	<b>67</b>
3.1 Definiciones	68
3.2 Evolución tecnológica de la industria automotriz	68
3.3 El cambio tecnológico	73
3.4 Competencia y colaboración en el ámbito del vehículo autónomo	73
3.5 Papel de la geografía en la tecnología ligada al vehículo autónomo	76
3.6 Innovación, países y ciudades relacionados con el vehículo autónomo	77
3.7 ¿Está la tecnología ligada al vehículo autónomo modificando la geografía de la innovación en la industria automotriz?	84
3.8 Posibles efectos positivos y negativos de los vehículos autónomos	86
<b>Capítulo 4</b>	
<b>Biología vegetal: la conexión entre la innovación urbana y su aplicación en el medio rural</b>	<b>97</b>
4.1 La creciente importancia de la biología vegetal	98
4.2 El panorama de la innovación en biología vegetal	108
4.3 La red de innovación en biología vegetal	112
4.4 El futuro de la biología vegetal	117
<b>Capítulo 5</b>	
<b>Perspectivas sobre políticas: argumentos a favor de la apertura</b>	<b>125</b>
5.1 La economía de la apertura	125
5.2 La apertura en una época de caída de la productividad de la I+D	130

## Prólogo

La geografía ha revestido siempre suma importancia en la organización de la actividad económica. En un principio, las ciudades se formaron como centros para el comercio de productos agrícolas y elaborados. Muchas de ellas fueron surgiendo en la intersección de rutas comerciales o en los lugares en los que se cambiaba el medio de transporte de los productos. Tras la llegada de la revolución industrial, las ciudades pasaron a ser centros de producción industrial en gran escala; con el avance de la industrialización, algunas de ellas se expandieron, transformándose en megalópolis, mientras que otras fueron decayendo.



En la economía del siglo XXI, impulsada por la innovación, las ciudades siguen desempeñando un papel vital, aunque las fuerzas que plasman la geografía de la actividad económica hayan cambiado. Las empresas quieren estar en núcleos urbanos, porque es allí donde viven los trabajadores más cualificados y talentosos. Los empleos mejor remunerados y más gratificantes, así como el dinamismo de la vida urbana, atraen a su vez hacia esos núcleos a gran número de personas altamente cualificadas. La innovación también depende en grado sumo del intercambio de ideas entre la gente y, por lo general, ese intercambio se propicia cuando las personas viven y trabajan muy cerca las unas de las otras.

Sin embargo, la geografía económica del siglo XXI presenta otra dimensión importante. La tecnología ha facilitado nuevas formas de colaboración e intercambio de conocimientos, conectando a las personas cualificadas, aunque estén muy alejadas entre sí. Así pues, el nuevo panorama de la innovación está constituido en todo el mundo por centros de excelencia concentrados geográficamente y que forman parte de una red mundial que lleva los conocimientos en muchas direcciones.

La cambiante geografía de la innovación es importante. Los gobiernos de todo el mundo procuran promover un entorno de política que sea propicio a la innovación. Con ese fin es necesario entender la dinámica local de los ecosistemas de innovación. Por ejemplo, ¿en qué lugar la investigación financiada por el gobierno logra fomentar de la mejor manera posible las capacidades tecnológicas incipientes? ¿De qué forma una planificación urbana inteligente puede abrir mayores oportunidades de intercambio de conocimientos y de colaboración? En sentido más amplio, la expansión de la actividad innovadora en las economías incide cada vez más en la distribución regional del ingreso. Entender las fuerzas que dan impulso a esta tendencia, permite a su vez dar mejores respuestas en el plano de las políticas.

Nuestro *Informe mundial sobre la propiedad intelectual 2019* ofrece una perspectiva empírica de la geografía mundial de la innovación, y lo logra siguiendo la huella

geográfica que los innovadores han dejado en los últimos decenios en millones de documentos de patentes y publicaciones científicas. Ya en el *Índice Mundial de Innovación* de la OMPI se adopta un enfoque centrado en los macrodatos para identificar las principales categorías científicas y tecnológicas presentes en todo el mundo. Este Informe va más allá, pues se vale de un mayor volumen de datos que se remontan a varios decenios atrás, analiza las tendencias en el tiempo y explora con cierto detenimiento la forma en que los innovadores de todo el mundo colaboran entre sí. De ello resulta un cuadro complejo, que exhibe a escala mundial un número limitado de núcleos de innovación en pocos países, a los que corresponde la mayor parte de la actividad innovadora. La colaboración es extensa y se lleva a cabo en equipos cada vez más numerosos y con carácter cada vez más transfronterizo, en la mayoría de los países, aunque no en todos.

Además de este panorama de la economía en su conjunto, el Informe incluye dos estudios de casos que examinan en detalle la cambiante geografía de la innovación en dos sectores tecnológicos que evolucionan con rapidez. Uno de esos estudios gira en torno a la tecnología de los vehículos autónomos; describe de qué manera la innovación está dando nueva forma a la industria automotriz, habida cuenta de que las empresas de tecnologías de la información están planteando nuevos desafíos a los fabricantes de automóviles. Esta transformación está ampliando el panorama de la innovación, dando cada vez mayor protagonismo en la industria automotriz a varios núcleos de tecnologías de la información que tradicionalmente no descollaban en la innovación en ese ámbito.

El otro estudio de caso gira en torno a la biotecnología agrícola. La actividad científica e inventiva en la biotecnología agrícola se concentra en unas pocas economías de ingresos altos y en China y, en esas economías, principalmente en grandes zonas metropolitanas. Sin embargo, en comparación con otras esferas de innovación, presenta mayor extensión geográfica, abarcando muchos países de África, América Latina y Asia. Ello refleja, en parte, la necesidad de adaptar las innovaciones a las condiciones locales.

**Los elementos  
presentados  
en este Informe  
ponen de  
manifiesto que,  
en gran medida,  
la innovación ha  
pasado a estar  
interrelacionada a  
escala mundial.**

Los elementos presentados en este Informe ponen de manifiesto que, en gran medida, la innovación ha pasado a estar interrelacionada a escala mundial. Como elemento fundamental, la capacidad de las empresas y los investigadores de colaborar a través de las fronteras se ha basado en políticas que, en gran medida, propician la apertura y la cooperación internacional. El Informe aboga por que las políticas se mantengan abiertas y que se siga fortaleciendo la cooperación internacional. Para resolver problemas tecnológicos de creciente complejidad será necesario contar con equipos de investigadores cada vez más numerosos y más especializados. La colaboración internacional contribuye a formar esos equipos y, por lo tanto, será indispensable para expandir continuamente la frontera tecnológica mundial.

Si bien el análisis presentado en este Informe ofrece información original, también es preciso formular algunas salvedades. En lo que atañe a la actividad innovadora, los datos obtenidos de patentes y publicaciones científicas proporcionan información abundante y susceptible de comparación a escala internacional. Sin embargo, no reflejan toda la actividad de esa índole, ni describen en su totalidad las nutridas interacciones que tienen lugar entre los innovadores. Además, las fuerzas dinámicas que orientan la dirección de las redes mundiales de innovación son múltiples y su interacción es compleja. En ese sentido, resultarán sumamente valiosas las investigaciones futuras que ofrezcan orientación empírica sobre esas fuerzas.

Esperamos que este Informe contribuya a favorecer el reconocimiento de la importancia que reviste la geografía para la actividad innovadora, ayudando de esa manera a afinar las políticas destinadas a fomentar la innovación y a velar por la amplia difusión de los beneficios que conlleva.

Francis GURRY  
Director general



## Agradecimientos

El presente informe fue elaborado bajo la tutela del director general de la OMPI, Francis Gurry, y supervisado por Carsten Fink (economista jefe). Las tareas de preparación corrieron a cargo de un equipo liderado por Julio Raffo (jefe de economía de la innovación), Intan Hamdan-Livramento (economista), Maryam Zehtabchi (economista) y Deyun Yin (becaria), todos ellos pertenecientes a la División de Economía y Estadística de la OMPI.

El informe se nutre de varios trabajos de investigación encargados a tal efecto. El capítulo 1 constituye un buen ejemplo, pues toma como base una revisión de literatura preparada por Riccardo Crescenzi (Escuela de Economía y Ciencias Políticas de Londres, LSE), Simona Iammarino (LSE), Carolin Ioramashvili (LSE), Andrés Rodríguez-Pose (LSE) y Michael Storper (LSE y University of California, Los Angeles).

Ernest Miguelez (Groupe de Recherche en Économie Théorique et Appliquée, GREThA, Burdeos), Francesco Lissoni (GREThA Burdeos y Università Bocconi), Christian Chacua (GREThA Burdeos), Massimiliano Coda-Zabetta (GREThA Burdeos) y Gianluca Tarasconi contribuyeron con el informe de antecedentes y colaboraron en la preparación de los datos para el capítulo 2.

El capítulo 3 se basa en la investigación preparatoria realizada por Kristin Dziczek (Center for Automotive Research, grupo CAR), Eric Dennis (CAR), Qiang Hong (CAR), Diana Douglas (CAR), Yen Chen (CAR), Valerie Sathe-Brugeman (CAR) y Edwin Marples (CAR).

Finalmente, Gregory D. Graff (Colorado State University) participó en la elaboración del informe de antecedentes ligado al capítulo 4.

Resultaron de gran utilidad para el equipo encargado de la preparación del informe las revisiones y

los comentarios sobre los borradores de los capítulos y los documentos de antecedentes proporcionados por los colaboradores externos Cristina Chaminade (Lunds Universitet), Frédérique Sachwald (Observatoire des Sciences et Techniques, Hcéres), Maryann P. Feldman (University of North Carolina), Kazuyuki Motohashi (University of Tokyo), Luciana Marques Vieira (Escola de Administração de Empresas de São Paulo, FGV EAESP), José Maria da Silveira (Universidade Estadual de Campinas, UNICAMP) y Can Huang (Zhejiang University).

Lesya Baudoin, Daniel Benoliel, Shakeel Bhatti, Maurice Blount, Lee Branstetter, Richard Corken, Alica Daly, Gaétan de Rassenfosse, Philipp Großkurth, Christopher Harrison, Irene Kitsara, Agénor Lahatte, Orion Penner, Leontino Rezende Taveira, David Sapinho, Florian Seliger y Usui Yoshiaki tuvieron la amabilidad de contribuir a la elaboración del informe mediante la aportación de datos, observaciones y otros insumos.

Hao Zhou y Kyle Bergquist participaron en la compilación e integración de los datos utilizados en este informe.

Se contó con el valioso apoyo administrativo de Samiah Do Carmo Figueiredo, Caterina Valles Galmès y Cécile Roure.

Por último, cabe agradecer a los colegas de editorial y diseño de la División de Publicaciones su labor de coordinación en la producción del informe y a Richard Waddington su trabajo de edición. El soporte dispensado por la Biblioteca de la OMPI durante la elaboración del informe resultó de gran utilidad y la Imprenta prestó servicios de impresión de alta calidad. Todas las personas implicadas en este proyecto trabajaron arduamente para cumplir plazos sumamente apretados.

La geografía de la innovación puede parecer paradójica: si bien la generación de conocimiento científico e innovación es cada vez más global, tiende a concentrarse intensamente en unos pocos núcleos de innovación locales.

Los nuevos actores, en particular los países asiáticos, son los artífices de un volumen creciente de investigación científica e innovación, ámbitos que en su día constituyeron un coto casi exclusivo de un puñado de economías ricas. Al mismo tiempo, esta mayor difusión internacional ha ido acompañada –en el plano nacional– de una mayor concentración de la actividad innovadora en algunas zonas densamente pobladas. Estas áreas urbanas son ecosistemas vibrantes de innovación, como Silicon Valley, en las afueras de San Francisco (Estados Unidos) o Shenzhen-Hong Kong (en China), un núcleo de innovación más reciente.

Sin embargo, esta paradoja es más aparente que real; las aglomeraciones urbanas más innovadoras a nivel global son también las más abiertas al mundo exterior, hasta el punto de que, en algunas ocasiones, están mejor conectadas internacionalmente que con el resto del territorio nacional. Juntas forman lo que los economistas denominan redes mundiales de innovación. Son elementos clave de estas redes las empresas innovadoras y los profesionales altamente cualificados, quienes se decantan por las zonas urbanas innovadoras al permitirles estas interactuar entre sí y disfrutar de los servicios de la vida metropolitana. Las grandes ciudades ofrecen a las empresas potentes mercados locales, proveedores especializados e instituciones académicas que les permiten obtener economías de escala y alcance. El conocimiento, a su vez, fluye con mayor dinamismo entre los investigadores de las empresas y las universidades cuando trabajan en estrecha proximidad, lo cual alimenta la innovación.

Este informe de la OMPI analiza estas tendencias duales mediante la explotación de un rico conjunto de datos de millones de solicitudes de patentes y publicaciones científicas. Las conclusiones del informe abogan por aumentar la apertura y el apoyo a la colaboración si se pretende que la innovación siga prosperando.

### **La creación de conocimiento se está extendiendo a un número creciente de países**

Durante la mayor parte del período comprendido entre 1970 y 2000, tres países –los Estados Unidos de América, el Japón y Alemania– coparon dos terceras partes de toda la actividad de patentamiento a nivel mundial. Si se incluyen las demás economías de Europa Occidental, el porcentaje alcanzaba aproximadamente el 90%. Sin embargo, en los años transcurridos desde entonces, el resto del mundo ha pasado de una participación anecdótica a casi un tercio de la actividad total de patentamiento. Asimismo, la publicación de datos científicos ha seguido ampliándose, pues en los últimos 20 años el resto del mundo ha pasado de representar

menos de una cuarta parte de esas publicaciones a alrededor de la mitad.

China y la República de Corea son en gran medida responsables de la creciente proporción de nuevas áreas en la generación de conocimientos e innovación: en conjunto, representan más del 20% de las patentes registradas en los años 2015-2017, en comparación con menos del 3% en 1990-1999. Otros países, en particular Australia, el Canadá, la India o Israel, también han contribuido a la difusión mundial de la innovación. Sin embargo, numerosos países de ingresos medianos y todos los países de ingresos bajos siguen registrando niveles sustancialmente inferiores de actividad de patentamiento.

El flujo cada vez más disperso e interconectado de conocimientos e innovación se asemeja al desarrollo de complejas redes mundiales, o cadenas de valor, para la producción y el suministro de bienes y servicios. En este sentido, las empresas multinacionales han ubicado las etapas de producción intensivas en conocimiento –la más importante de las cuales es la investigación y el desarrollo (I+D)– en aglomeraciones urbanas en las que pueden encontrarse competencias especializadas y los conocimientos necesarios. En términos más generales, es la necesidad de una mayor colaboración para hacer frente a la creciente complejidad tecnológica lo que ha impulsado tanto la creciente concentración de la innovación en determinadas zonas urbanas como su difusión global.

### **La innovación es cada vez más local**

Utilizando datos geocodificados sobre inventores y autores científicos, en el presente informe se examina la geografía de la innovación dentro de los países y se señalan cuáles son las principales aglomeraciones de actividad científica y tecnológica del mundo. Se examinan dos tipos: los núcleos de innovación de escala mundial, que presentan la mayor densidad de publicaciones científicas o de actividad de patentamiento, y los conglomerados sectoriales especializados, en los

que la densidad de inventores y autores científicos es alta en un campo determinado, pero no lo suficientemente elevada en general como para ser considerados núcleos de innovación de escala mundial.

### **La innovación se concentra geográficamente en un número limitado de zonas**

El panorama emergente de los núcleos de innovación de escala mundial y de los conglomerados sectoriales muestra que la actividad inventiva y científica dentro de cada país se mantiene concentrada en una serie de áreas urbanas grandes, cosmopolitas y prósperas. En los Estados Unidos, aproximadamente una cuarta parte de todas las solicitudes de patente presentadas entre 2011 y 2015 partieron de los núcleos ubicados en torno a Nueva York, San Francisco y Boston. Durante el mismo período, en China, los núcleos de innovación encabezados por Beijing, Shanghái y Shenzhen aumentaron su cuota del total de patentes chinas del 36% al 52%.

Menos del 19% de la producción inventiva y científica mundial es generada por inventores o investigadores ubicados fuera de núcleos de innovación y conglomerados sectoriales. A pesar de este gran cambio en el panorama de la innovación mundial, más de 160 países –la gran mayoría– siguen registrando poca actividad innovadora y no albergan ningún núcleo de innovación o conglomerado sectorial.

### **Las grandes ciudades no son necesariamente centros de innovación**

No todas las grandes áreas metropolitanas son prolíficas en innovación. Por ejemplo, América del Norte alberga la mayoría de los núcleos de innovación en densas áreas urbanas a lo largo de las costas este y oeste, mientras que muchas zonas urbanas interiores con elevada concentración poblacional no muestran una densidad equivalente en el ámbito de la innovación. Asia, América Latina y África cuentan con numerosas áreas urbanas de alta densidad poblacional que, sin embargo, no presentan gran actividad innovadora. A pesar de su elevada población, las principales metrópolis –por ejemplo, Bangkok, El Cairo, Ciudad del Cabo, Kuala Lumpur y Santiago de Chile– solo presentan un modesto grado de densidad de innovación en algunos campos especializados.

Por su parte, las áreas urbanas menos densas albergan en ocasiones conglomerados sectoriales. Algunos ejemplos son Ítaca en los Estados Unidos, Stavanger en Noruega y Berna en Suiza, que son ciudades altamente innovadoras debido a la potente huella innovadora de instituciones académicas o industrias locales o, a veces, gracias a la presencia de una empresa de referencia.

### **Cada vez más, la colaboración es la norma**

Los datos muestran que una mayoría creciente de artículos científicos y patentes son fruto del trabajo conjunto de equipos humanos. Ya a principios de la década de 2000, el 64% de todos los artículos científicos y el 54% de todas las patentes procedían de grupos de profesionales. En la segunda mitad de la década de 2010, estas cifras habían aumentado hasta casi el 80% y el 70%, respectivamente.

La mayoría de las economías de ingresos altos también evidencian una creciente colaboración internacional. Las motivaciones que impulsan al mundo académico y a las empresas a cruzar fronteras en busca de socios para la innovación son múltiples. La comunidad científica tiene una larga tradición de colaboración internacional, mientras que las empresas multinacionales buscan ganar eficiencia a través de la división internacional de su I+D y de la colaboración internacional.

Las excepciones más notables a esta tendencia hacia la internacionalización son las principales economías de Asia Oriental, donde el Japón, la República de Corea y, más recientemente, China han visto cómo se contraía su participación porcentual –aunque no en términos absolutos– en la colaboración internacional.

### **La mayoría de los vínculos internacionales se dan entre unos pocos países**

La mayor parte de la colaboración internacional se concentra en unos pocos países principales. En el período comprendido entre 2011 y 2015, los Estados Unidos y Europa Occidental representaron el 68% y el 62%, respectivamente, de toda la colaboración internacional en materia de ciencia e innovación. La mayor parte de la colaboración tiene lugar entre inventores e investigadores de esos países. Los nuevos

participantes en esas redes de colaboración, procedentes de países como China, la India, Australia o el Brasil, siguen colaborando sobre todo con las economías mencionadas anteriormente y no entre sí.

### Los núcleos de innovación de escala mundial y los conglomerados sectoriales impulsan la colaboración internacional y las redes mundiales

La mayoría de los núcleos de innovación de escala mundial han aumentado su nivel de colaboración internacional en las dos últimas décadas. Esta colaboración –ya sea nacional o internacional; en materia de patentes o de cara a la publicación– forma una densa red de vínculos que da lugar a redes mundiales de innovación. Se observa una evolución en la organización de las redes, que suelen presentar más nodos y van añadiendo nuevos vínculos a medida que pasa el tiempo.

El grado de colaboración internacional de las personas que ejecutan tareas de invención y científicas en núcleos de innovación y conglomerados sectoriales es mayor que el de sus homólogas no adscritas a dichos núcleos o conglomerados, en particular en lo que respecta a la producción de artículos científicos. Durante las dos últimas décadas, la proporción de publicaciones científicas en las que ha tenido lugar una colaboración internacional entre científicos de núcleos de innovación ha sido más del triple de la producida por científicos ajenos a dichos ámbitos.

### Concentración de la colaboración

A pesar de los nuevos nodos de la red y de los vínculos entre ellos, los núcleos de innovación de los Estados Unidos, Europa y Asia siguen desempeñando un papel clave en las redes mundiales, tanto en términos de producción como de conectividad. En general, en los núcleos de innovación más grandes la colaboración se da tanto a nivel nacional como internacional, mientras que en los conglomerados sectoriales y en los núcleos de menor entidad predomina la colaboración de tipo nacional. Por ejemplo, numerosos núcleos de innovación franceses y británicos conectan con el resto del mundo a través de París y Londres, respectivamente. En China, Shanghái, Beijing y Shenzhen son los principales centros de confluencia.

Sin embargo, no todos los núcleos de innovación tienen la misma relevancia en términos de conexiones. Los de los Estados Unidos figuran entre los nodos más conectados, mientras que Beijing, Londres, París, Seúl, Shanghái o Tokio también lo están, pero en menor medida. Curiosamente, el alto volumen de actividad científica y de innovación que registran los núcleos de innovación estadounidenses no explica plenamente su mayor conectividad. Muchos otros núcleos de innovación, como Tokio o Seúl, muestran una producción científica o inventiva mayor o similar, pero no están tan conectados entre sí.

La intensidad de la colaboración internacional varía considerablemente de un país a otro. Por ejemplo, los núcleos de innovación de la India y Suiza están muy conectados internacionalmente, mientras que no sucede lo mismo con los de la República de Corea y el Japón. En muchos núcleos de innovación, la internacionalización a menudo va de la mano con un aumento de la proporción de interacciones puramente locales. En muchos núcleos de innovación chinos, el número de coinventores en el seno de esos núcleos ha aumentado notablemente, y ha coincidido con una disminución del porcentaje de colaboración nacional e internacional con agentes no vinculados a esos núcleos de innovación.

### Las empresas multinacionales están en el centro de las redes

Los datos sobre patentes proporcionan información sobre las urdumbres corporativas de I+D, elementos vertebradores de las redes mundiales de innovación. En las solicitudes de patente de las empresas multinacionales de todo el mundo figuran cada vez con mayor frecuencia inventores e inventoras extranjeros procedentes de un abanico de países en continua expansión. En las décadas de 1970 y 1980, los inventores e inventoras de otros países solo figuraban en el 9% de las solicitudes de patente presentadas por empresas estadounidenses; en la década de 2010, esta proporción había aumentado al 38%. Las empresas de Europa Occidental experimentaron una progresión similar, del 9% al 27% en el mismo período.

Esta actividad de patentamiento a nivel internacional sigue ocurriendo principalmente entre empresas e inventores de economías de ingresos altos. En las décadas de 1970 y 1980, el 86% de las patentes que

se obtenían a nivel internacional estaban vinculadas a compañías multinacionales e inventores de los Estados Unidos, el Japón y países de Europa Occidental. Sin embargo, esta proporción se redujo al 56% en la década de 2010.

### **Las economías de ingresos medianos, nuevos actores en las redes de las empresas multinacionales**

Esta tendencia obedece a dos motivos principales. Por un lado, las multinacionales de estos países subcontratan cada vez más las actividades de I+D a las economías de ingresos medianos, en particular China, la India y, en menor medida, Europa del Este. Por ejemplo, en la década de 2010, en más de una cuarta parte de todas las patentes obtenidas a nivel internacional por empresas multinacionales estadounidenses había un inventor de China o de la India. Por otra parte, las multinacionales de las economías de ingresos medianos también participan activamente en las redes mundiales de innovación. Compañías de Asia, Europa del Este, América Latina y África dependen en gran medida de la creatividad de los inventores de los Estados Unidos, Europa Occidental y China.

### **Los centros de innovación presentan movilidad geográfica y pueden dispersarse con el tiempo**

Las multinacionales pueden tener necesidades y estrategias muy diferentes en cuanto a dónde buscar talento, y estas pueden cambiar con el tiempo. Por ejemplo, Google y Siemens han concentrado las actividades relacionadas con la invención en sus principales centros. En la década de 2010, en San José-San Francisco se originaban el 53% de las patentes de Google, frente al 36% en la década de 2000. Del mismo modo, en Núremberg –la fuente más importante de patentes para la empresa manufacturera alemana Siemens– vieron la luz el 32% de las patentes de dicha empresa durante la década de 2010, frente al 27% en la década de 2000.

La concentración es aún mayor en las empresas asiáticas, aunque ha disminuido ligeramente con el tiempo. Tokio y Shenzhen-Hong Kong fueron las fuentes inventivas más importantes para Sony y Huawei en la década de 2010, registrando el 71% y el 81% de las patentes, respectivamente. Sin embargo, estas cifras

son inferiores a las de la década anterior, un 83% y un 88% respectivamente, lo que sugiere una dispersión relativa de la innovación.

### **La innovación está reorganizando la industria del automóvil**

El informe profundiza en la evolución de la geografía de la innovación estudiando dos industrias que están experimentando cambios profundos. Uno de ellos es el sector de la automoción, que se encuentra en las primeras fases de una época de disrupción tecnológica. Los nuevos participantes, procedentes de la industria automotriz y del sector de las tecnologías de la información, están desafiando a los actores establecidos.

Los vehículos totalmente autónomos aún no han llegado al mercado. Sin embargo, el análisis de datos mediante inteligencia artificial y la interconectividad de dispositivos y componentes están reformulando el modelo de negocio de la industria hacia los servicios y la llamada “economía de plataformas”. Los fabricantes de vehículos tradicionales temen ser desplazados en su negocio principal: fabricar y comercializar automóviles.

Los datos sobre patentes sugieren que los fabricantes de automóviles tradicionales y sus proveedores están a la vanguardia de la innovación en materia de vehículos autónomos. Ford, Toyota y Bosch, que tienen en su haber 357, 320 y 277 familias de patentes relacionadas con los vehículos autónomos, respectivamente, son los tres primeros solicitantes de patentes en ese ámbito. Sin embargo, empresas que no se dedican a la fabricación de automóviles también figuran en la lista de los principales solicitantes de patentes. Google y su filial en el mundo de los vehículos autónomos, Waymo, ocupan la octava posición con 156 patentes, por delante de fabricantes de automóviles tradicionales como Nissan, BMW y Hyundai. Uber y Delphi tienen 62 patentes cada uno y aparecen clasificados en el puesto 31.

### **Los operadores tradicionales y los nuevos participantes colaboran entre sí**

Ni los actores tradicionales ni los nuevos operadores tienen actualmente todas las competencias necesarias para fabricar vehículos autónomos. Por ello necesitan, bien colaborar, bien desarrollar internamente las respectivas competencias de las que carecen. La innovación en el ámbito de los vehículos autónomos

es una empresa costosa y a largo plazo. Así pues, los incentivos para que los diversos interesados colaboren entre sí y compartan riesgos y costos son considerables. Se están forjando tres tipos de colaboraciones: entre los fabricantes de automóviles tradicionales, entre las empresas de tecnología y entre los fabricantes de automóviles y las empresas de tecnología. Las redes de colaboración emergentes son una amalgama de todo lo referido: ninguna es mutuamente excluyente, sino que se impone la coexistencia.

### **Las empresas de automoción y de tecnologías de la información se mantienen vinculadas a sus polos de innovación tradicionales**

Los principales fabricantes de automóviles y gigantes de las tecnologías de la información siguen favoreciendo fuertemente la innovación en las ubicaciones radicadas en sus países de origen. No obstante, parece percibirse cierta evolución geográfica en los márgenes, por lo que podría ser demasiado precipitado afirmar –o descartar– que la tecnología ligada a los vehículos autónomos cambiará la geografía de la innovación en la industria automotriz.

### **La innovación se siembra en los laboratorios de biotecnología y se cosecha en los polos de innovación del sector agrícola**

La biotecnología agrícola es un sector en el que la innovación debe adaptarse a las condiciones agroecológicas locales. Si bien la mayoría de las invenciones en el campo de la biotecnología vegetal provienen de países de ingresos altos –por ejemplo, los Estados Unidos, Europa Occidental y los países del Este Asiático–, estas necesitan una adaptación a las diferentes condiciones climáticas y de suelo.

La mayoría de los cultivos transgénicos utilizados en los países emergentes de ingresos medianos a finales de la década de 1990 eran germoplasmas adaptados localmente a partir de sus homólogos norteamericanos. El resultado es que los polos de innovación en biotecnología vegetal existen en muchas partes del mundo. Sin embargo, los datos muestran que la innovación en biotecnología agrícola en muchos países de África, América Latina y el Caribe y Asia está concentrada geográficamente.

### **Panorama de la innovación en biotecnología vegetal**

La mayor parte de la producción inventiva y científica en biotecnología proviene de un puñado de países. Los Estados Unidos, Alemania, China, el Japón y la República de Corea acumulan más del 55% y el 80% de todos los artículos y patentes en biotecnología agrícola, respectivamente. Solo la Argentina, Australia, la India, Israel, México y Singapur se suman a la lista de países que albergan polos de biotecnología vegetal y, a excepción de Australia, todos ellos tienen uno solo.

Existe una división geográfica entre el lugar en que se produce la innovación en biotecnología vegetal y el lugar en que se cosechan los cultivos transgénicos. En la mayoría de los casos, los núcleos de innovación en el campo de la biotecnología agrícola se encuentran en grandes áreas metropolitanas, ya sea en núcleos de innovación de escala mundial o en conglomerados especializados donde abundan las competencias biotecnológicas. Esto también es aplicable a los países en desarrollo, donde los polos nacionales de biotecnología agrícola suelen estar ubicados en grandes zonas urbanas, como São Paulo (Brasil) o Ciudad del Cabo.

Algunos polos de innovación están cerca de las zonas rurales –por ejemplo, Viçosa en Brasil o Irapuato en México–. Dondequiera que se ubiquen, su presencia suele estar asociada a instituciones públicas influyentes, como universidades, centros internacionales de investigación agrícola o estructuras nacionales de investigación agrícola.

### **Aumentar la colaboración entre el sector público y el privado**

Las empresas privadas, en particular las cuatro principales compañías agroindustriales –Bayer y BASF de Alemania, ChemChina y Corteva Agriscience de los Estados Unidos– son responsables de gran parte de la inversión en I+D que se realiza en el ámbito de la biotecnología vegetal. La necesidad de acceso a tecnologías patentadas ha estimulado la colaboración dentro de la industria a través de licencias cruzadas, licencias, empresas conjuntas de investigación e incluso fusiones y adquisiciones.

Sin embargo, existe una creciente necesidad de colaboración con el sector público para acceder, por ejemplo, a conjuntos de germoplasmas y cultivares

–variedades de cultivos con características deseables– que a menudo están en manos de instituciones públicas de investigación. Para las instituciones públicas, los altos costos de la comercialización de productos del campo de la biotecnología agrícola hacen que casi siempre se requiera la colaboración de grandes empresas multinacionales. Desde la década de 2000, la actividad de copatentamiento entre empresas privadas e instituciones públicas ha superado a la que se limita al sector privado y se ha convertido en el tipo de colaboración más frecuente. De hecho, desde la década de 2010, el copatentamiento entre empresas privadas ocupa el tercer lugar en importancia, por detrás del copatentamiento entre instituciones públicas.

### La apertura en la búsqueda de la innovación aporta beneficios mutuos

¿Qué implica para la formulación de políticas la geografía mundial de la innovación, tal como se describe en este informe? El crecimiento de las redes mundiales de innovación se ha basado en políticas que favorecen la apertura y la cooperación internacional, pero esto no debe darse por sentado, especialmente a medida que la ciudadanía se muestra más escéptica respecto a los beneficios de la globalización.

La teoría económica justifica sólidamente por qué es beneficioso el libre intercambio de conocimientos: promueve la especialización de los diferentes polos de innovación que existen en el mundo, con lo que la producción de conocimientos gana en eficiencia y diversidad. El carácter de bien público del conocimiento refuerza los argumentos a favor de los beneficios de la apertura: si los flujos de conocimientos generan beneficios económicos en el extranjero sin disminuirlos en los países de origen, es inevitable que la apertura produzca beneficios mutuos.

Si bien teóricamente puede haber circunstancias en las que el crecimiento de una economía se vea facilitado por restricciones estratégicas al comercio y a los flujos de conocimientos, la experiencia de las economías de ingresos altos en las últimas décadas sugiere un impacto positivo general del flujo de conocimientos sobre nuevas tecnologías.

### El descenso de la productividad de la I+D refuerza los argumentos a favor de la apertura

Se está volviendo extremadamente difícil continuar haciendo avanzar la vanguardia tecnológica. Los datos apuntan a que para alcanzar el mismo nivel de progreso tecnológico que en el pasado se requiere cada vez un mayor esfuerzo en I+D.

El descenso de la productividad de la I+D hace necesario un aumento constante de las inversiones en innovación, y requiere colaboración y apertura. Encontrar soluciones a problemas tecnológicos cada vez más complejos exige contar con equipos de investigadores más grandes y una mayor especialización en la investigación, que pueden promoverse mediante la apertura y la colaboración internacional.

### Para que la apertura funcione es necesaria la cooperación internacional...

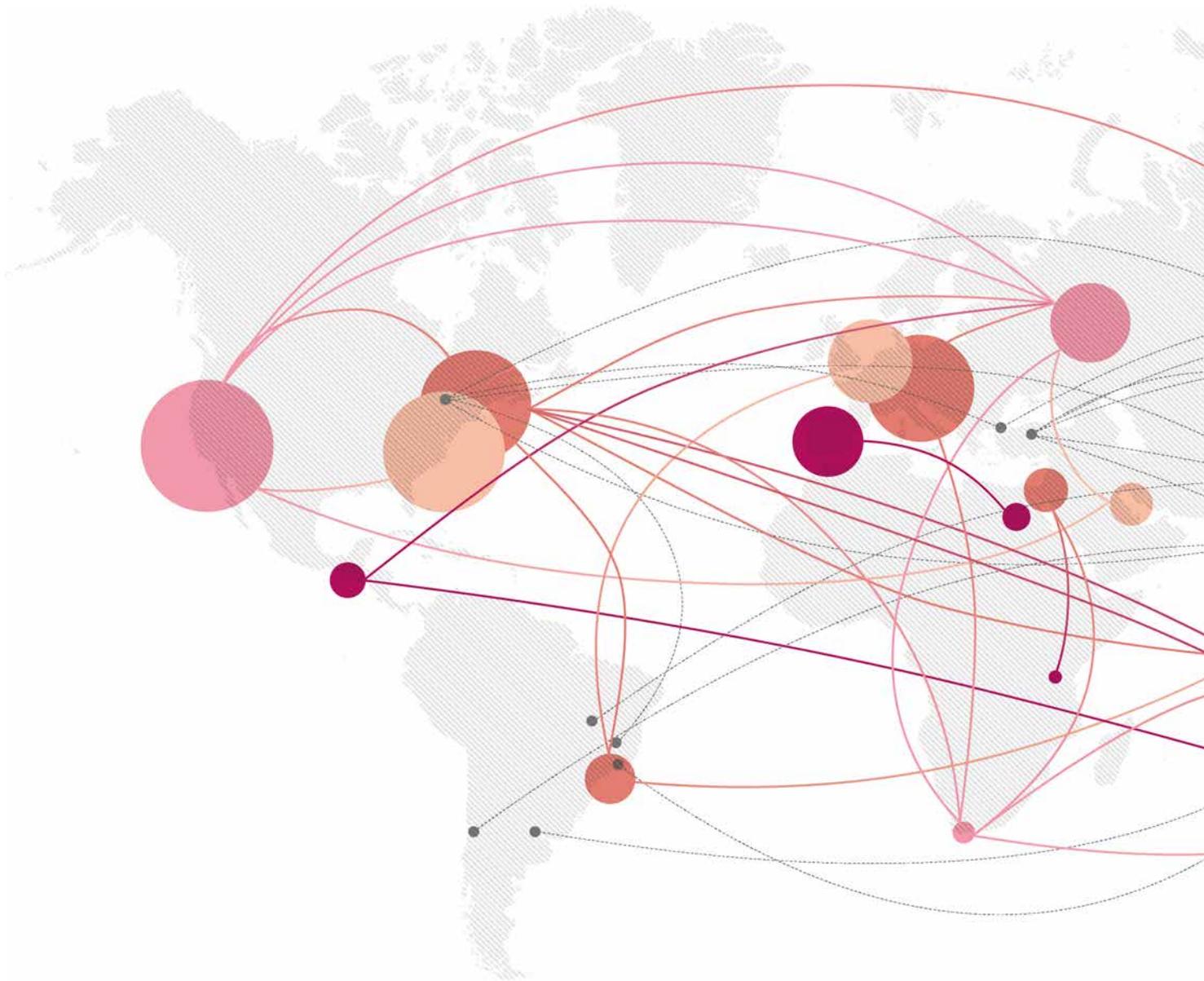
La cooperación internacional en materia de innovación presenta numerosas dimensiones. Es necesaria para promover incentivos a las inversiones en innovación que reflejen las demandas y el tamaño de la economía mundial. También puede desempeñar un papel importante a la hora de facilitar a los innovadores la realización de negocios a escala internacional. Por último, los gobiernos pueden mancomunar recursos y financiar proyectos científicos de gran envergadura que superen las capacidades presupuestarias nacionales o que requieran conocimientos técnicos de diferentes países.

### ... y políticas que aborden la creciente divergencia regional

Una tendencia preocupante de los últimos decenios es la creciente polarización interregional en materia de ingresos, actividad innovadora, empleo altamente cualificado y salarios de estos profesionales dentro de los países. La apertura fortalece la atracción gravitatoria ejercida por las regiones más pujantes. Como demuestra este informe, los núcleos de innovación más vibrantes, integrados en las redes mundiales de innovación, tienden a estar situados en las aglomeraciones metropolitanas más ricas de los países.

Las políticas regionales de apoyo y desarrollo pueden desempeñar un papel importante para ayudar a las regiones que se han quedado rezagadas. Si bien no invierten la atracción gravitatoria de las regiones prósperas, pueden promover un crecimiento impulsado por la innovación que beneficie a la economía en su conjunto.

Mientras que la innovación se concentra cada vez más en núcleos de innovación urbanos, aumenta el grado de conexión y colaboración entre esos núcleos.



# La evolución de la geografía mundial de la innovación

La innovación tecnológica es el motor que impulsa el crecimiento económico y fomenta la mejora del nivel de vida. Como se describe en la edición de 2015 del *Informe mundial sobre la propiedad intelectual* de la OMPI, el récord de crecimiento registrado en los últimos 200 años no tiene precedentes en la historia. Una serie de avances tecnológicos han mejorado considerablemente la calidad de vida y han posibilitado una prosperidad material generalizada. Aun así, algunas economías nacionales han experimentado un crecimiento más rápido y sostenido que otras. La distribución geográfica y la difusión de las actividades de innovación –ya sean tecnológicas o generadoras de conocimientos– explican en gran medida por qué algunas economías se han desarrollado más rápidamente que otras. Las nuevas tecnologías, a su vez, han determinado dónde y cómo se ha producido la innovación.<sup>1</sup>

La primera revolución industrial –que se originó a finales del siglo XVIII gracias a la introducción de nuevos procesos de fabricación propulsados por vapor– concentró la producción industrial mundial en Europa Occidental, sobre todo en el Reino Unido.<sup>2</sup> Cambió la faz de la economía mundial, generando una jerarquía de desarrollo global diferente. De manera igualmente importante, también condujo a divergencias regionales persistentes dentro de Europa, donde un selecto grupo de regiones y ciudades –como Manchester y Londres en el Reino Unido; Normandía, París y Lyon en Francia; la región del Ruhr en Alemania; Lieja en Bélgica o la región francoalemana que comprende Lorena, Sarre y Luxemburgo– pasaron a constituir el “núcleo europeo”.<sup>3</sup>

La segunda revolución industrial –impulsada por una amplia gama de invenciones electromecánicas en la segunda mitad del siglo XIX– fue testigo de la entrada de América del Norte en el club de países de ingresos altos, al tiempo que la industrialización se extendía por otras regiones europeas. No se produjo una coincidencia perfecta entre los países, las ciudades y las regiones que protagonizaron la primera y la segunda revolución industrial. Algunas de las regiones nucleares en la primera experimentaron un declive, mientras que otras prosperaron. En Europa, las olas de industrialización se expandieron concéntricamente, abarcando, entre otras regiones, el suroeste de Francia, el nordeste de España, el corredor Milán-Venecia en el norte de Italia, Berlín, Viena, Cracovia y Praga, además de desplazarse hacia el norte hasta Oslo y la ciudad sueca de Gotemburgo. En los Estados Unidos de América, las ciudades del nordeste –como Boston, Nueva York y Baltimore– siguieron siendo industrialmente importantes, pero la industrialización se extendió a varias ciudades del medio oeste, como Chicago, Detroit, Mineápolis y Cleveland.

A partir de los años setenta y ochenta se ha iniciado una tercera revolución industrial, en la que tienen gran relevancia la tecnología digital, la tecnología vinculada a las ciencias de la vida y la biología, la ingeniería financiera y los importantes avances en transporte y logística. Esta tercera revolución industrial ha coincidido con un aumento considerable de los intercambios

comerciales y de inversión a nivel mundial. La innovación y el desarrollo económico se han extendido al noreste de Asia, pasando del Japón a la República de Corea y más tarde a China. Tokio, Seúl, Shenzhen y Beijing se han convertido en megaciudades que marcan la dirección del progreso tecnológico actual. Las “tradicionales” economías de ingresos altos de Europa y América del Norte siguen estando a la vanguardia de la innovación, pero el panorama geográfico interno que tienen ante sí es nuevo.

¿Qué fuerzas pueden explicar las razones por las que la innovación se ha concentrado en determinadas zonas geográficas y solo se ha extendido de forma desigual? Profundizando más allá de los patrones generales esbozados anteriormente, ¿cómo está cambiando exactamente la geografía mundial de la innovación? ¿Cómo organizan las empresas en la era globalizada actual sus actividades de innovación en todo el mundo?

Este informe procura ofrecer una visión general sobre estas cuestiones. Lo hace en tres partes. En primer lugar, se examinan el pensamiento económico y los datos empíricos que explican la distribución geográfica de la actividad innovadora, tarea que se lleva a cabo en este primer capítulo. En segundo lugar, se emplean datos de patentes y publicaciones científicas y se procede a una geocodificación de los inventores y autores científicos de todo el mundo para mostrar cómo ha evolucionado la geografía de la innovación en las últimas décadas. El análisis de las tendencias emergentes –presentado en el capítulo 2– retrata esa geografía en términos de redes mundiales de innovación, núcleos de innovación concentrados geográficamente y conglomerados de innovación especializados conectados entre sí, que están cada vez más a la vanguardia. El informe también ilustra el funcionamiento de las redes mundiales de innovación a través de dos estudios de caso –uno sobre vehículos autónomos y el otro sobre biotecnología agrícola–. Estos estudios de caso se presentan en los capítulos 3 y 4, respectivamente. Por último, el informe concluye –en el capítulo 5– con la aportación de perspectivas sobre políticas ligadas a sus principales conclusiones. A este respecto cabe destacar los beneficios de que los sistemas nacionales de innovación sigan mostrándose abiertos al intercambio internacional de conocimientos.

En este capítulo inicial se examinan las principales fuerzas económicas que subyacen a la concentración geográfica y a la expansión de la creación y difusión de conocimientos. En la siguiente sección se examinan las

principales teorías económicas y los datos existentes sobre la concentración geográfica de las actividades innovadoras. Se pone de manifiesto que los procesos de creación y flujo de conocimientos, la inversión y la apropiación están reforzando la innovación global y las jerarquías económicas, y que están favoreciendo la concentración de la innovación en núcleos de innovación de escala mundial o en conglomerados sectoriales especializados, la mayoría de ellos de carácter metropolitano. En la sección 1.2 se examina cómo esos procesos conducen al mismo tiempo a una mayor dispersión de los núcleos de innovación por todo el mundo, y se estudian las principales fuerzas –que operan principalmente a través de redes mundiales de empresas, investigadores y emprendedores– que están conectando los principales centros de innovación y creación de todo el mundo. En la última sección se analizan algunas de las consecuencias que se derivan del elevado grado de concentración de la actual red mundial de núcleos de innovación.

## 1.1 Concentración de la innovación en núcleos de innovación urbanos

Para contextualizar la geografía de la innovación a nivel mundial es necesario comprender tanto las fuerzas que impulsan la concentración de la innovación como las que propician su difusión. Las economías establecidas de ingresos altos y las economías emergentes de ingresos medianos comparten una característica destacada de la geografía del desarrollo económico: la distribución geográfica de los ingresos altos tiene un creciente carácter metropolitano, lo que refleja la renovada divergencia interregional dentro de los países. Esas áreas metropolitanas son también entornos propicios para la formación de ecosistemas de innovación. En los Estados Unidos, dos ejemplos destacados son la parte sur del área de la bahía de San Francisco, en el norte de California, y la región metropolitana del Gran Boston, en Massachusetts, a las que se conoce como Silicon Valley y la Ruta 128, respectivamente.

### ¿Qué fuerzas económicas explican la aglomeración de la innovación?

Una de las cuestiones más difíciles para los estudios geográficos, económicos y de desarrollo que abordan esta cuestión es determinar por qué surgen y florecen en un lugar estos focos, o aglomeraciones, de innovación. Esta pregunta engloba desde los factores

generales que subyacen a la agrupación de la innovación hasta las distribuciones geográficas específicas de esas aglomeraciones.<sup>4</sup>

Varias teorías económicas diferentes tratan este asunto. Estas consideran por lo general las fuerzas económicas relacionadas con la disponibilidad de trabajadores cualificados, el tamaño del mercado y el trasvase de conocimientos, donde se concentran las empresas altamente innovadoras, los conocimientos pueden transvasarse o filtrarse de unas a otras. Los eventos históricamente relevantes o las políticas deliberadas pueden afectar al conjunto de factores referidos, pero ninguno de esos elementos logra disipar enteramente el interrogante. Al mismo tiempo, hay fuerzas que empujan en la dirección opuesta, hacia la dispersión geográfica, pero todos los estudios indican que no son tan potentes.

El gráfico 1.1 proporciona un resumen gráfico de las principales fuerzas que impulsan la concentración, que se examinan a continuación.

### Las personas, las empresas y las ideas tienden a congregarse

**Gráfico 1.1 Principales fuerzas económicas que impulsan la concentración geográfica en la innovación**



Nota: C y T = Ciencia y tecnología.

### ¿Ayuda la oferta de competencias a impulsar la aglomeración de la actividad innovadora?

La teoría económica dominante nos ofrece varias hipótesis para explicar que la concentración geográfica de la innovación pueda ser un resultado indirecto de la oferta de mano de obra, tanto desde un punto de vista cualitativo como cuantitativo.<sup>5</sup>

Estas teorías asumen que las personas, en función de sus competencias, gravitan hacia regiones diferentes. Expresado de manera sencilla, las personas altamente cualificadas se agrupan porque quieren interactuar entre sí, de modo que el nivel formativo y las cualificaciones de la mano de obra en una región determinada pueden actuar como fuerza de atracción. Al mismo tiempo, la migración puede cambiar el nivel de cualificación del personal de la región receptora, con lo que se reforzaría el efecto aglomerativo.

La preferencia de las personas altamente cualificadas por las aglomeraciones vibrantes y por trabajar en la innovación es uno de los elementos de esta hipótesis. Las profesiones innovadoras ofrecen trayectorias profesionales y aprendizaje a lo largo de toda la vida, lo que asegura futuras oportunidades de empleo en un momento en el que la automatización parece amenazar cada vez más numerosas ocupaciones tradicionales de oficina. Los trabajos vinculados a la innovación ofrecen altos salarios que compensan el aumento de los costos de vida y de vivienda. La presión que suponen los elevados costos también empuja al personal menos remunerado y no cualificado a la periferia urbana.

Contamos con datos empíricos que muestran que en las regiones que en el pasado tenían una concentración de trabajadores con educación universitaria superior a la media se observa un mayor crecimiento en la proporción de trabajadores con educación universitaria, los ingresos per cápita, las patentes y otros indicadores directos e indirectos de innovación. Las características de la oferta local de mano de obra parecen influir en la trayectoria de desarrollo de las aglomeraciones generadoras de innovación y afectan a la capacidad innovadora regional, tanto en los Estados Unidos como en la Unión Europea.<sup>6</sup>

Sin embargo, ¿qué explica el origen de una mano de obra especialmente cualificada en una región determinada? En algunos momentos de la historia, los trabajadores y trabajadoras cualificados modificaron su distribución geográfica, favoreciendo la dispersión

espacial. ¿Por qué el comportamiento de la fuerza laboral cualificada ha cambiado espontáneamente en favor de la concentración geográfica? Esto ocurrió también en la fase de maduración de la segunda revolución industrial, cuando se produjo una migración masiva de personas cualificadas –y también de mano de obra no cualificada– de todo el mundo a los principales países desarrollados, entre 1940 y 1980.<sup>7</sup>

La ocurrencia de eventos históricos en los que han participado personas inusuales puede explicar parcialmente la ubicación de aglomeraciones innovadoras, especialmente aquellas relativas a las regiones pioneras en las tecnologías clave de cada revolución industrial. Por ejemplo, según algunas opiniones, Silicon Valley está en el lugar que ocupa porque William Shockley –el inventor de los semiconductores a base de silicio– decidió mudarse desde Nueva Jersey para estar cerca de su anciana madre. Otra anécdota sobre Shockley es que después de haber conseguido socios de gran nivel para su primera empresa de mudanzas, su difícil estilo de gestión hizo que todos dejaran su puesto el mismo día. Este evento, conocido como “la masacre de Shockley”, creó un primer e inesperado ejemplo de las escisiones que se han vuelto tan típicas en el proceso de desarrollo de Silicon Valley. Los anales de la innovación contienen muchas otras historias de ese tipo, que tienen su origen en el factor humano.

Sin embargo, esa aleatoriedad en la “presencia de grandes inventores” es cuestionable. Habida cuenta del número de individuos famosos vinculados a Silicon Valley –desde Shockley y Frederick Terman, uno de los reconocidos “padres” de Silicon Valley, hasta Steve Jobs, de Apple, y los cofundadores de Google, Sergey Brin y Larry Page– parece poco probable que su presencia allí sea fruto de una coincidencia. Además, Saxenian (1994) presenta argumentos convincentes de que la mera presencia de los primeros innovadores no es suficiente. Muchos de los primeros grandes innovadores de las tecnologías de la información estaban ubicados en Boston, pero no se quedaron allí. Por ejemplo, Mark Zuckerberg, de Facebook, se fue de Boston a Silicon Valley porque Boston no era el lugar adecuado para transformar una invención revolucionaria en una innovación plenamente desarrollada, como había ocurrido en Nueva Jersey décadas antes, cuando William Shockley se marchó al área de la bahía de San Francisco.

Además, la noción de “competencias” no alude a una entidad uniforme, y las diferentes tecnologías pueden necesitar diferentes conjuntos o combinaciones de

competencias que no siempre se solapan. Una persona empleada en las finanzas se sentirá atraída por lugares diferentes a los que interesan a los ingenieros de tecnologías de la información, y esos lugares y puestos de trabajo no son intercambiables. Esto no es óbice para que diferentes profesiones y competencias puedan resultar complementarias para la producción de una determinada innovación.

### **Ámbito de la demanda: generación de centros de innovación por las fuerzas del mercado**

Las fuerzas económicas relativas al mercado complementan las de la oferta de trabajadores como impulsoras de la concentración geográfica de las actividades de innovación. Las principales fuerzas económicas vinculadas al mercado son generadas por el conjunto de organizaciones –especialmente las empresas privadas– existentes en un mercado y las consiguientes economías de transporte, escala y alcance.

Ese conjunto de organizaciones está en el origen de las diferencias de productividad entre regiones. Al igual que ocurrió con los “casos individuales inusitados”, los hitos históricos ligados a avances en innovación generados por empresas de gran relevancia en las economías locales (denominadas empresas “de referencia”) pueden ser igualmente importantes para propiciar el nacimiento de un ecosistema de innovación que luego crece orgánicamente a medida que se trasladan tanto trabajadores cualificados como actividades empresariales conexas. En ese proceso, las empresas de referencia pueden ejercer una influencia idiosincrásica en la aglomeración. Sin embargo, esto no siempre es así. Por ejemplo, Motorola ubicó la instalación de semiconductores más grande del mundo en Phoenix (Arizona) en la década de 1950, pero esto no logró que esa ciudad estadounidense se convirtiera posteriormente en un centro de industrias de tecnología de la información.<sup>8</sup> Motorola creyó que podía ser un pionero geográficamente aislado en una industria tecnológicamente innovadora, pero resultó que solo aquellos pioneros que no se aislaron de las redes de código abierto del emergente Silicon Valley –como la empresa de semiconductores Fairchild y la de informática Hewlett-Packard– fueron capaces de no perder el tren de la curva tecnológica, en rápida evolución.

Las regiones que presentan una concentración industrial se benefician de mercados laborales locales más

completos. Las empresas pueden encontrar competencias especializadas más fácilmente, con lo que disminuyen los costos relacionados con la reconversión del perfil de competencias del personal o el traslado de este último. Del mismo modo, una mayor concentración de empresas hace más probable la generación de nuevas compañías. Existe una mayor probabilidad de que estas empresas derivadas (*spin-off*) sean más productivas cuanto mayor sea la productividad del conjunto original de empresas. La aglomeración y la capacidad de innovación de la industria automotriz en Detroit en el primer cuarto del siglo pasado se debió en gran medida a las empresas derivadas que implementaron las prácticas tecnológicas y organizativas de sus matrices.

Las instituciones académicas –como las universidades– también son importantes factores de concentración. La congregación de graduados universitarios y de trabajadores del ámbito de la ciencia, la ingeniería y la tecnología refleja la concentración espacial de las actividades de innovación. En los Estados Unidos, las personas cualificadas, sobre todo en el sector de servicios, se trasladan a ciudades más grandes y dejan los núcleos poblacionales pequeños y medianos. La investigación académica también es más productiva y creativa, es decir, menos convencional, en las aglomeraciones más grandes y diversas.<sup>9</sup>

Las nuevas teorías de la geografía económica han ampliado y perfeccionado el argumento del conjunto de organizaciones existentes. A diferencia de la mayoría de los análisis espaciales tradicionales, caracterizan la concentración geográfica como un proceso de bola de nieve en el que las regiones atraen progresivamente a las empresas proveedoras y al talento humano. En su versión más simple, las diferencias regionales de productividad o las economías de escala pueden explicar por sí solas la divergencia en la concentración geográfica entre dos regiones equivalentes o explicar el avance de la concentración en las regiones centrales con respecto a la periferia. El mecanismo básico es que cualquier diferencia real en los niveles de productividad o innovación en una región determinada se acumula para generar o reafirmar la posición de liderazgo de la región más innovadora o productiva.<sup>10</sup>

De acuerdo con estas teorías, las fuerzas del mercado que favorecen la aglomeración actúan cuando tanto las empresas como los consumidores pueden beneficiarse de la agrupación en un solo lugar. Las aglomeraciones con grandes mercados locales son las ubicaciones

preferidas para la producción de bienes de consumo debido a las economías de transporte, escala y variedad. Las economías de transporte se dan cuando las empresas locales pueden dar servicio a un gran mercado local de forma más rápida y barata que las empresas lejanas. De manera similar, las empresas que abastecen a grandes mercados se benefician de las economías de escala al dividir los costos de inversión irre recuperables entre más unidades vendidas y al optimizar los procesos de producción a través de varias iteraciones. Los consumidores de los mercados más grandes disfrutaban de una mayor variedad de bienes. No solo los consumidores pueden encontrar la variedad exacta de productos que buscan en un mercado más grande, sino que las empresas pueden especializarse en su provisión. Estos tres mecanismos –transporte, escala y alcance– también afectan a las empresas que producen bienes intermedios a nivel local, lo que refuerza las economías en eslabones posteriores de la cadena de suministro local.<sup>11</sup>

### ¿Favorecen la concentración el trasvase de conocimientos y las condiciones tecnológicas?

Es importante señalar que, con todo, la escala del mercado y la disponibilidad de mano de obra cualificada no garantizan que una región vaya a dominar la próxima ola de innovación. Las ventajas obtenidas de los éxitos pasados en materia de innovación no aseguran una posición tecnológica privilegiada en el futuro.

Al igual que sucede con los mercados de gran tamaño y los mercados laborales completos, los trasvases de información y conocimientos constituyen también factores externos positivos que favorecen la ubicación en un mismo lugar de empresas innovadoras, centros académicos y recursos humanos con talento.<sup>12</sup> En este contexto, la noción de conocimientos no se limita a las prácticas tecnológicas y organizativas de una entidad o individuo, sino que incluye también la posible difusión de estas entre diversos actores. Por ejemplo, las empresas obtienen un mayor beneficio de las economías de escala y de alcance si aprenden de la experiencia de otras empresas, y el personal cualificado difunde tácitamente conocimientos cuando interactúa con otros homólogos cualificados, cambia de organización o migra.

La mayoría de los datos empíricos apuntan a que el trasvase de conocimientos presenta un grado elevado

de concentración geográfica. Esto se debe principalmente a los altos costos asociados con la codificación, el intercambio y la absorción de conocimientos. Si bien la información –por ejemplo, los datos– fluye cada vez más libremente entre organizaciones y regiones, el trasvase de conocimientos –lo que se necesita, por ejemplo, para interpretar los datos– resulta más “engorroso”. Las empresas, las organizaciones académicas y los individuos tienen que interactuar activamente, colaborar y, a veces, trasladarse para posibilitar ese trasvase. La concentración del trasvase de conocimientos puede, por consiguiente, ser tanto una consecuencia como un desencadenante de la aglomeración de la innovación. Las empresas innovadoras se trasladarán a los lugares donde los trasvases de conocimientos son más habituales, lo que a su vez reforzará el trasvase de conocimientos en esa región y desplazará a las empresas no innovadoras a la periferia.<sup>13</sup> Esta innovación conjunta y la coevolución espacial pueden determinar el tipo de desarrollo de una región, y este puede ser en gran medida irreversible.

Si bien es probable que los recursos tecnológicos previos de cada región influyan en la posterior creación de innovación, no todas las regiones innovadoras siguen la misma trayectoria. En la década de 1930, tanto Princeton (Nueva Jersey) –sede de RCA Laboratories– como Silicon Valley vieron nacer antecedentes tecnológicos de la industria de las tecnologías de la información; no obstante, ambos lugares emprendieron caminos innovadores muy diferentes. La notable trayectoria de innovación en tecnologías de la información de Silicon Valley surgió de las industrias existentes de fabricación de tubos para la red eléctrica, tubos de microonda y componentes de silicio, que se apoyaban mutuamente. Estas industrias enriquecieron el ecosistema de innovación en el campo de las tecnologías de la información en el norte de California aportando competencias tecnológicas conexas y nuevos enfoques de gestión fácilmente trasladables a la naciente industria de las tecnologías de la información. El ecosistema tecnológico ligado a las tecnologías de la información era mucho menos diverso en Princeton y otros centros de la Costa Este, y estaba basado en un número reducido de empresas grandes.<sup>14</sup>

En este sentido, las aglomeraciones más diversificadas tienen más probabilidades de evolucionar con éxito hacia nuevas áreas tecnológicas que las altamente especializadas.<sup>15</sup> En la literatura sobre el tema abundan los casos de economías altamente especializadas que se ven atrapadas en sus nichos tecnológicos y no son

capaces de transformarse en respuesta a reducciones acusadas de la demanda o cambios tecnológicos. Parece que la ocurrencia de la innovación tecnológica es más probable en regiones con una cartera más amplia de competencias técnicas, especialmente cuando es fácil recombinarlas. Las industrias dominantes tienden a monopolizar el talento, la oferta de factores económicos de producción –como el capital o la actividad emprendedora– y la atención. Esta concentración de recursos puede desplazar a otras actividades y canalizar la evolución de las economías regionales por diferentes sendas. Por ejemplo, Detroit –la “ciudad del automóvil”– se presenta como un caso de hiperespecialización. Sin embargo, existen centros altamente especializados en ingeniería mecánica y tecnología automotriz que han sabido gestionar las olas de tecnología posteriores, como la zona de Stuttgart, en Alemania. En el pasado, la ciudad de Boston estuvo especializada en industrias basadas en los molinos, y en la actualidad es un centro de alta tecnología. La capacidad de evolución económica regional depende de la posibilidad de orientarse hacia ámbitos tecnológicos conexos y de las competencias tecnológicas.<sup>16</sup>

Sin embargo, la complementariedad y la pertinencia tecnológica no lo son todo. Existen numerosos ejemplos de regiones que logran hacerse con nuevos sectores importantes, a pesar de que estos guardan poca relación tecnológica con sus actividades anteriores. Los Ángeles no era una región importante en el ámbito de la ingeniería mecánica en las décadas de 1920 y 1930, y aun así se convirtió en el centro de la ingeniería aeronáutica de los Estados Unidos y, en la década de 1940, en el mayor polo aeroespacial del mundo. Los Ángeles tampoco tenía experiencia en la industria del entretenimiento cuando se establecieron allí los estudios de cine alrededor de 1915. Detroit tenía menos antecedentes en equipos mecánicos que Illinois en la década de 1890, pero rápidamente se convirtió en el centro de la tecnología y la fabricación automotriz de los Estados Unidos.

En estos y otros muchos ejemplos se abrieron ventanas de oportunidad tecnológica. Estas discontinuidades en la pertinencia tecnológica eliminan en gran medida las ventajas que proporciona la preexistencia de una aglomeración y crean unas condiciones equitativas durante un corto período de tiempo, en las primeras etapas de existencia de una tecnología.

En resumen, la interacción entre innovación y geografía refleja la yuxtaposición de antecedentes individuales,

organizativos y tecnológicos. La paradigmática comparación realizada por Saxenian (1994) entre la Ruta 128 de Boston y Silicon Valley muestra que los tipos de iniciativa empresarial, organización de la producción y coordinación de sistemas que experimentan las empresas y los actores existentes en una región determinan la evolución económica de esa región y qué tipo de nuevas actividades puede generar y captar.

### ¿Pueden las políticas moldear las fuerzas de aglomeración que afectan a la innovación?

Existen pocos datos sistematizados y respaldados por un número considerable de observaciones que prueben el éxito de las políticas en la creación de nuevos polos de innovación locales. Las últimas décadas están plagadas de iniciativas políticas fracasadas que pretendían crear nuevas “tecnópolis” o “el próximo Silicon Valley”. No puede descartarse que las ayudas gubernamentales atraigan a un tipo “equivocado” de empresas; compañías de baja productividad que dependen de los subsidios para sobrevivir y otras sociedades que en la práctica no están abiertas a la creación de redes entre empresas locales por temor a filtraciones de la propiedad intelectual. Puesto que los antecedentes ejercen una influencia considerable en el desarrollo de la industria y la creación de polos de innovación, cabe preguntarse qué impacto pueden tener las políticas. Al igual que en la naturaleza, las empresas forman ecosistemas de innovación que no son fácilmente trasplantables o reproducibles, ya que se desarrollan en entornos institucionales y tejidos sociales con un alto componente de especificidad territorial.<sup>17</sup>

Sin embargo, lo referido no significa que todas las políticas hayan fracasado a la hora de influir en la formación de polos de innovación. De hecho, una característica común de cualquier sistema nacional de innovación es que las fuerzas del mercado que propician la aglomeración no son el único factor que determina la geografía de la innovación. El sector público, así como el de la enseñanza superior y las instituciones académicas son también actores clave que determinan la capacidad de innovación de los países y las regiones. Esto se da especialmente en las economías en desarrollo, donde la inversión pública es el principal motor del gasto en I+D.<sup>18</sup> En algunos países y regiones, el estancamiento de la productividad ha estimulado una reactivación de la política industrial. En muchas de las antiguas economías de ingresos medianos más prósperas, su ascenso

económico fue acompañado de políticas industriales con un fuerte componente de innovación.

En los Estados Unidos, el *Research Triangle Park* en Carolina del Norte constituye un ejemplo destacable de la influencia positiva de las políticas. Aunque quizás no pueda equipararse a Boston o Silicon Valley, el *Research Triangle Park* goza de gran reconocimiento en una amplia variedad de campos de alta tecnología y se considera como ejemplo a seguir, por ser uno de los primeros parques de investigación y figurar entre los que más éxito han tenido.<sup>19</sup> Las políticas públicas también pueden influir en la geografía de la innovación de manera más indirecta a través del sistema de I+D y, en particular, en el papel de las universidades y los laboratorios e instituciones de investigación públicos. En los Estados Unidos, de 1875 a 1975, el sistema federal de cesión de terrenos para universidades amplió la extensión geográfica de las universidades de investigación, mientras que la financiación federal de las universidades contribuyó a su proliferación. El sistema de California es quizás el más exitoso de todos, pues la *University of California* (pública) cuenta con seis de las mejores universidades del mundo. Lo mismo resulta aplicable a la distribución geográfica de los laboratorios del sector público, como los laboratorios nacionales de los Estados Unidos o los laboratorios del *Conseil National de Recherche Scientifique* de Francia.

De manera análoga, la mayoría de las antiguas economías de ingresos medianos que se han convertido en regiones innovadoras de ingresos altos –como la República de Corea, Singapur o Israel– tuvieron éxito en sus esfuerzos por dotarse de universidades de investigación de alto nivel.<sup>20</sup> En China, parece probable que la aparición de conglomerados de innovación especializados que figuran entre los más punteros a nivel mundial guarde relación con las inversiones realizadas en universidades de investigación de prestigio internacional.

También existen algunos ejemplos de intervenciones gubernamentales que han logrado generar conglomerados de innovación en economías de ingresos medianos. Por ejemplo, en 2008, el gobierno municipal de Chongqing (China) ayudó con éxito a trasladar a la ciudad varios núcleos costeros más pequeños de fabricación de ordenadores portátiles. Sus políticas de inversión en infraestructura, organización del mercado laboral y otras acciones favorables a las empresas favorecieron las iniciativas empresariales nuevas y el emprendimiento. Sin embargo, las políticas

se orientaron al traslado de polos existentes en lugar de a la creación de otros nuevos de forma orgánica. Otras iniciativas en China han adoptado diferentes enfoques, en función de las capacidades y poderes de la administración local en cuestión. Las inversiones realizadas por la India en un programa espacial ubicado en Bangalore propiciaron el nacimiento de un polo de innovación en tecnologías de la información en esa zona, que más tarde, gracias al apoyo de las políticas de inversión en infraestructura y capital humano, creció orgánicamente. Todos estos polos comenzaron como centros de fabricación para luego convertirse en centros de innovación –en mayor o menor grado–, a medida que maduraba la fase de fabricación. Cabe señalar que en esos procesos también participaron de manera sustancial las empresas multinacionales, cuyo papel en las redes mundiales de innovación se examinará a continuación.<sup>21</sup>

Todas las inversiones públicas necesarias para llevar a cabo estas estrategias son considerables, deben planificarse a largo plazo y contar con una organización institucional adecuada. Sin embargo, en la actualidad se constata una tensión inherente entre la equidad interregional y la excelencia existente en prácticamente todos los grandes países que cuentan con un sistema público de educación superior. Como no es práctico contar con universidades de investigación dotadas por igual con los recursos adecuados en todas las localidades, cualquier política de innovación exitosa tiene como consecuencia una cierta concentración en el plano nacional.

Además, en la coyuntura actual de aglomeración de la innovación, algunas instituciones del sector público –especialmente las universidades– se ven reforzadas por fuerzas del mercado, que hacen que algunas de ellas resulten más atractivas para los estudiantes, el profesorado y los financiadores. Esto reduce la eficiencia de las políticas del sector público para distribuir la innovación en diferentes regiones y crea el riesgo de que la iniciativa empresarial pública siga los patrones geográficos del sector privado y beneficie en gran medida a las regiones con instituciones sólidas y condiciones favorables. Lamentablemente, la innovación o los marcos de política industrial rara vez han sido capaces de elevar el nivel nacional de innovación y distribuirla de manera relativamente uniforme dentro del territorio nacional.

Otras políticas –o la ausencia de ellas– también pueden afectar indirectamente a las fuerzas subyacentes a la aglomeración de la innovación. Las preferencias de los trabajadores altamente cualificados, los empresarios y

las empresas innovadoras por determinadas aglomeraciones pueden reflejar políticas deliberadas ligadas a los polos de innovación, pero tampoco son ajenas a las políticas fiscales, de seguridad social y de educación, entre otras.<sup>22</sup> Por ejemplo, las regiones innovadoras que han tenido éxito y que cuentan con mercados inmobiliarios muy poco regulados probablemente observarán un repunte del precio de la vivienda, lo que excluirá a la mano de obra poco cualificada y la hará trasladarse a regiones con viviendas de menor coste, como se ha señalado anteriormente.

### ¿Por qué coexisten la concentración geográfica de la innovación y su difusión?

En los párrafos precedentes se alude varias veces a la concentración regional que está teniendo lugar en el marco de un proceso de difusión global. Esa es la otra característica por excelencia de la geografía de la innovación en el momento actual. Si bien la actividad innovadora se concentra cada vez más en las áreas metropolitanas, también se está extendiendo gradualmente a lugares situados fuera de los centros tradicionales de los Estados Unidos y Europa Occidental.

Los datos empíricos apuntan simultáneamente tanto a la importancia de la creciente naturaleza global de la innovación como a las fuerzas cada vez más intensas que impulsan la aglomeración y la concentración de la innovación en áreas específicas –a menudo metropolitanas–. Esas tendencias no son antagonistas, sino complementarias y se refuerzan mutuamente. Esa geografía emergente podría reflejarse en una única representación: un sistema globalizado basado en nodulos. El sistema mundial de innovación vincula los sistemas nacionales de innovación y las empresas mundiales a través de una accidentada geografía de creación de conocimientos. El resultado es una red mundial integrada por estos polos –o núcleos–, muchos de los cuales están mejor conectados entre sí que con zonas del territorio nacional en términos de creación y difusión de conocimientos.

En la actualidad, la apertura internacional es un rasgo distintivo de las principales aglomeraciones donde se da una innovación concentrada geográficamente. No obstante, el intercambio de conocimientos a larga distancia no es novedad en el sistema económico. Tanto en la primera revolución industrial como en la segunda, los conocimientos y los elementos técnicos viajaron, la imitación y la rivalidad internacional estuvieron muy

presentes, y siempre hubo redes de personas que ayudaron en ese intercambio de conocimientos. En el pasado, sin embargo, esos intercambios implicaban a menudo la exhibición y la posible imitación subsiguiente de lo que se creaba en una aglomeración rival.

Los polos de conocimiento contemporáneos mantienen vínculos a larga distancia que se han vuelto más organizados y extensos con el tiempo, y que a menudo implican el codesarrollo de tecnologías en las distintas aglomeraciones, tanto dentro de una misma empresa como entre empresas competidoras.

Por lo tanto, las aglomeraciones generadoras de conocimiento no son hoy en día sistemas locales autónomos, sino que constituyen nodos clave en redes de innovación dispersas y mundiales.<sup>23</sup> De hecho, los sistemas de innovación localizados de alta productividad son también los que están más ligados a relaciones a larga distancia de diversa índole. El establecimiento de esos vínculos puede aportar nuevos conocimientos a una región. Los innovadores confían en la colaboración tanto dentro como fuera de las organizaciones y las regiones en las que trabajan.

Estas redes de difusión geográfica de la innovación se tratarán en la siguiente sección.

## 1.2 Las redes y la difusión global de la innovación

En los últimos decenios, las redes mundiales de producción y suministro de bienes y servicios se han ampliado considerablemente. En comparación con las olas de globalización anteriores, la actual tiene una proporción mucho mayor de intercambio intraindustrial, tanto de componentes como de bienes finales, dentro de las cadenas globales de valor. Si bien antes del año 2000 la mayor parte de ese comercio intraindustrial tenía lugar entre unos pocos países –sobre todo del hemisferio norte–, desde entonces han ido ganando peso las interacciones entre las economías en desarrollo y el resto del mundo. Las redes mundiales de producción a menudo implican flujos comerciales múltiples o circulares en los que las exportaciones se incorporan en productos subsiguientes que terminan como importaciones, con lo que la separación entre la producción extranjera y la nacional queda desdibujada.<sup>24</sup>

En otras palabras, la globalización actual implica formas intrincadas de interdependencia, no solo entre

economías, sino también dentro de la red de capilares que vasculan el sistema económico, tanto dentro de una misma empresa o industria como entre ellas. Lo mismo ocurre con las redes de innovación y los ecosistemas subyacentes, que son a la vez una consecuencia y, cada vez más, una causa de la integración productiva mundial.

A imagen de la creciente globalización y complejidad de los sistemas de producción, la generación de conocimientos se sustenta en un sistema reticular cuya dispersión y complejidad no cesan de aumentar. La globalización de la innovación es el resultado de una mayor integración internacional de las actividades económicas y de la creciente importancia del conocimiento en los procesos económicos.<sup>25</sup>

Desde mediados del siglo XX hasta la crisis financiera mundial que dio comienzo en 2008, la actividad tecnológica también se ha ido internacionalizando y nuevos países han emergido en el sistema internacional de innovación. Más recientemente, algunos datos apuntan a la relocalización selectiva de algunas actividades clave de I+D e innovación hacia los países de origen. Al mismo tiempo, sin embargo, en el período posterior a la crisis se ha producido una creciente articulación de las cadenas de valor más allá de las fronteras nacionales, lo que implica una proporción cada vez mayor de flujos comerciales intraempresariales, con los intercambios de conocimientos que conllevan.<sup>26</sup>

### ¿Qué fuerzas económicas explican la difusión de la innovación?

Las fuerzas económicas que impulsan la difusión de la innovación son muy similares a las que estimulan su concentración en determinados polos. Los agentes económicos de un determinado núcleo de innovación extienden la actividad innovadora a otras regiones del mundo y viceversa, por lo que la difusión de la innovación a escala mundial puede entenderse como una red bidireccional de flujos tecnológicos y de conocimientos.

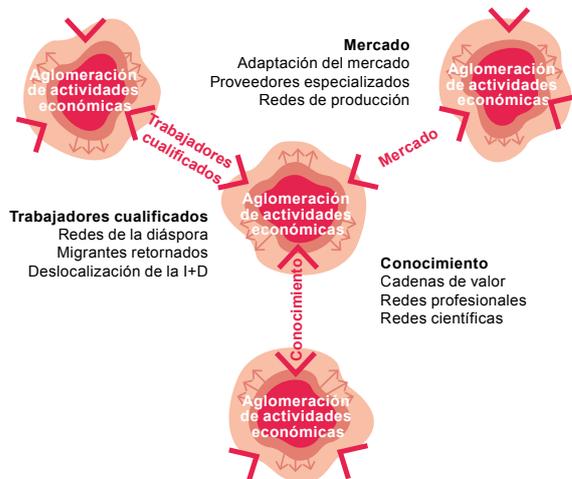
Vale la pena recordar que la extensión geográfica de la innovación a las zonas periféricas de una región o país se ve a menudo limitada porque las fuerzas que impulsan la concentración son demasiado potentes. Sin embargo, las mismas fuerzas centrípetas que operan en un polo de innovación urbano están presentes en otros, lo cual puede conducir a relaciones recíprocas que generen una mayor difusión de la innovación y el conocimiento. Es probable que las regiones que

difunden y reciben innovación permanezcan conectadas, pero esos flujos de conocimientos y tecnología a menudo rehúyen las regiones periféricas del mundo y establecen vínculos directamente con las principales aglomeraciones económicas.

En el gráfico 1.2 se resumen las tres principales fuerzas económicas bidireccionales que forjan los vínculos de una red internacional o interregional: mercado, trabajadores cualificados y conocimientos.

### Los individuos, las empresas y las ideas crean vínculos que sobrepasan las fronteras geográficas

Gráfico 1.2 Principales fuerzas económicas bidireccionales que favorecen la difusión de la innovación



La movilidad internacional e interregional de los innovadores cualificados es una característica básica de los entornos de innovación contemporáneos y crea vínculos interpersonales entre los centros de innovación. Esta movilidad puede propiciar la dispersión internacional de la innovación al fortalecer esas redes de innovación.<sup>27</sup>

Por supuesto, la difusión global del conocimiento no tiene lugar a través de la movilidad aleatoria de las personas, sino a través de su desplazamiento entre lugares en los que es probable que encuentren las condiciones y las personas adecuadas para hacer florecer su capacidad de innovación. Como se ha señalado, estas redes no solo sirven como medio de dispersión y movilidad, sino también como puntos clave de atracción para las personas cualificadas. Esa fuerza

de trabajo de gran talento puede beneficiarse de oportunidades de aprendizaje y experiencia al encontrarse en núcleos de innovación que constituyen nodos clave de la red y forman parte de redes de gran relevancia. La capacidad de adquirir más experiencia y mejorar las competencias se considera una de las principales razones por las que la mano de obra cualificada sigue trasladándose a las ciudades más caras, a pesar de los elevados costos de vida, lo que contribuye al rápido aumento de las diferencias geográficas en los salarios de los trabajadores cualificados. La evidencia de que, en la actualidad, tanto la “fuga de cerebros” internacional como interregional es un fenómeno muy extendido completa este panorama.

La movilidad laboral puede adoptar varias vertientes. Después de concentrarse en una región, los migrantes cualificados a menudo generan una red de la diáspora que vincula las regiones de origen y de destino. Además, muchos migrantes altamente capacitados regresan a su región de origen para aplicar allí sus mayores conocimientos como empresarios.

Saxenian (1999) estudia la interacción de las personas y las redes de inversión a través de la movilidad de empresarios asiáticos cualificados desde y hacia Silicon Valley. La autora explica cómo la mano de obra cualificada llega a Silicon Valley y adquiere capital humano y experiencia; se integra en las redes locales al tiempo que continúan manteniendo vínculos con su país de origen. Por ejemplo, ingenieros e ingenieras chinos e indios formados en los Estados Unidos coordinan la interacción entre los productores de tecnología de Silicon Valley y los proveedores de servicios de fabricación y diseño de las regiones pertinentes en sus países de origen. Cuando los empresarios asiáticos cualificados se desplazan, participan en el intercambio de conocimientos, que conduce a lo que se denomina “circulación de cerebros”. Cuando esos empresarios recurren a sus redes, parecen ser capaces de facilitar inversiones en nuevas iniciativas empresariales, lo que pone de manifiesto una evolución paralela de las redes y los canales de inversión extranjera directa.

Del mismo modo, las empresas multinacionales que reubican sus centros de I+D en el extranjero para beneficiarse de una oferta extraordinaria –o más barata– de personal investigador también generan flujos de conocimientos bidireccionales, al menos en la región de la sede central. El acceso al talento y el costo de la I+D son algunas de las principales motivaciones conocidas de las multinacionales para internacionalizar la I+D. A

nivel mundial, la actividad de patentamiento es cada vez más producto de la colaboración de grandes equipos que operan dentro de los límites organizativos de las multinacionales. Por ejemplo, una parte significativa de las patentes chinas e indias que recibe la Oficina de Patentes y Marcas de los Estados Unidos son el resultado de colaboraciones de ese tipo.<sup>28</sup>

### Las fuerzas de mercado y el papel de las empresas multinacionales en la internacionalización de las redes

Las fuerzas que actúan en la aglomeración y difusión del mercado crean vínculos dentro de una empresa, entre diferentes empresas o entre diferentes tipos de organizaciones. Por ejemplo, el tamaño del mercado puede hacer que una empresa deslocalice su producción para reducir los costos de transporte y beneficiarse de las economías de escala. La puesta en marcha de la nueva planta de producción conllevará transferencia de tecnología y también se producirán flujos inversos de conocimientos cuando se adapte el producto a los gustos o a las normativas locales.

Las multinacionales son actores esenciales en todas esas interacciones tecnológicas a larga distancia. Estas compañías optan por internacionalizar sus actividades de I+D, además de por los costos más bajos y el acceso a talento extranjero, para beneficiarse de otras externalidades del mercado, como la reducción de los plazos de lanzamiento de productos al mercado y el aprovechamiento de áreas localizadas de excelencia tecnológica. La inversión de los flujos de inversión extranjera directa también puede beneficiar a los centros de innovación establecidos. Las empresas multinacionales de las economías de ingresos medianos utilizan cada vez más las salidas de inversión extranjera directa para llegar a más mercados y hacerse con activos estratégicos, como tecnología, conocimientos especializados, competencias comerciales y marcas. Es evidente que las competencias tecnológicas locales solo son relevantes para atraer este tipo de inversión extranjera directa si la posible filial va a realizar actividades intensivas en tecnología.

La deslocalización intra e interempresarial de la I+D aumenta el rendimiento de la innovación corporativa.<sup>29</sup> Los territorios más destacados de generación de conocimiento en todo el mundo suelen albergar la sede de empresas de referencia que construyen y participan en esas redes internacionales, así como compañías

extranjeras que desean acceder a esos ecosistemas generadores de conocimiento, a su disponibilidad de talento y a sus investigadores.

La existencia de un grupo de proveedores especializados es también una motivación para establecer vínculos con otra región. Una región determinada puede especializarse en una tecnología específica de la que pueden beneficiarse industrias complementarias, aunque estén situadas en otras regiones. Se establecerán flujos de conocimientos bidireccionales entre el comprador y el proveedor especializado en forma de especificaciones técnicas y bienes con tecnología incorporada. En las industrias con una cadena de suministro compleja, estos eslabones pueden integrar varios centros y crear redes de producción complejas y, a menudo, internacionales.

Podría decirse que las fuerzas que impulsan la aglomeración tienen éxito en atraer a las empresas multinacionales y a otras compañías –especialmente a las de alto valor añadido– hacia determinados lugares, tanto en las economías desarrolladas como en las economías en desarrollo. La agrupación resultante hace que estos destinos dependan cada vez menos de consideraciones puramente relacionadas con los costos o la dotación tecnológica relativa. Las ventajas intangibles de la ubicación, como los trasvases de conocimientos, están muy concentradas en regiones, ciudades y sistemas locales específicos. Las ventajas que se derivan del dinamismo de los nuevos ecosistemas locales de innovación pueden beneficiar a las empresas multinacionales en ese lugar, en sus sedes y en toda su cadena de valor. Los flujos de conocimientos resultantes son, por lo tanto, eminentemente bidireccionales o multidireccionales entre los llamados lugares de origen y de acogida.<sup>30</sup>

### Difusión del conocimiento: interacciones interpersonales y a nivel de organización

En la actualidad, la proximidad geográfica no es la única causa de los trasvases de conocimiento.<sup>31</sup> Las externalidades del conocimiento se convierten en fuerzas que promueven la difusión de la innovación mediante interacciones a nivel de la organización y redes interpersonales o profesionales. Estas conexiones organizativas y profesionales pueden verse reforzadas por la proximidad geográfica, pero su existencia no es contingente a este factor.

Las interacciones a nivel de organización que tienen lugar a larga distancia –por ejemplo, las interacciones dentro de las cadenas globales de valor o en las redes científicas internacionales– reducen los costos de transacción dentro de las empresas y las entidades de investigación. Estas estructuras organizadas pueden facilitar profundas interacciones de conocimiento sin que sea necesaria la colocalización. El efecto es mayor si los actores operan dentro de las reglas o prácticas estandarizadas establecidas por su organización o grupo de organizaciones. En 1981, Microsoft abrió unas instalaciones en Silicon Valley con el único objetivo de conectar sus operaciones de Seattle, en Bellevue (y más tarde en Redmond), con la efervescencia del área de la bahía de San Francisco.

Del mismo modo, cuando las relaciones se basan más en las personas y no tanto en las instituciones –por ejemplo, las comunidades profesionales y científicas– también pueden intercambiarse conocimientos de manera eficaz siguiendo un conjunto de normas y prácticas acordadas en común. Esto crea una proximidad social –que va desde lo interpersonal hasta la pertenencia a la misma cultura o grupo– entre los innovadores, que reduce los costos de interacción, facilita la verificación y aumenta la confianza para intercambiar y producir nuevos conocimientos.

Estas fuerzas económicas se superponen y se entrelazan hasta hacerse inseparables. Al igual que las fuerzas que impulsan la aglomeración del conocimiento, las que propician su difusión constituyen una parte intrínseca del razonamiento subyacente a las fuerzas de difusión ligadas a los trabajadores cualificados y al mercado, abordadas anteriormente.

Como se ha visto, la internacionalización de la I+D de las empresas desempeña un papel fundamental en todas esas interacciones tecnológicas a larga distancia, lo que convierte a las empresas multinacionales en uno de los tipos de organización y nodos de red más importantes para la difusión internacional de nuevos conocimientos. Las filiales internacionales de las empresas multinacionales están adquiriendo más autonomía y se están integrando más en los sistemas de innovación regionales y locales, cuando existen los incentivos adecuados. Esa mayor autonomía de las filiales internacionales implica también que la elección de una ubicación subnacional específica adquiere mayor relevancia y que, por tanto, para tomar esa decisión se tienen en cuenta una serie de factores además del costo.<sup>32</sup> Las características del ecosistema

regional de innovación –incluidas sus instituciones– son especialmente importantes para atraer inversión extranjera en innovación y operaciones tecnológicas y se convierten en factores pertinentes para interesar a otras inversiones en etapas más avanzadas e intensivas en conocimientos de las cadenas globales de valor.

### El florecimiento de las redes mundiales de innovación

La producción de conocimientos e innovación lleva mucho tiempo siendo un fenómeno internacional, pero solo recientemente se ha vuelto realmente global.<sup>33</sup> Hoy en día, los actores ubicados en diferentes países pueden llevar a cabo actividades de innovación de forma verdaderamente integrada. La innovación se ha convertido progresivamente en el resultado de redes mundiales que conectan centros de conocimiento dispersos.<sup>34</sup>

Es en este contexto general de globalización del conocimiento y la innovación –en el que su producción tiene lugar con un mayor grado de integración funcional– en el que ha surgido el concepto de redes mundiales de innovación. Una red mundial de innovación es una red de colaboración organizada a nivel mundial entre organizaciones –empresas y otras entidades– que se dedican a la producción de conocimientos conducentes a la innovación. Las redes se caracterizan por 1) su alcance realmente mundial (no limitado a las redes basadas en países de ingresos altos); 2) su naturaleza reticular; y 3) el resultado, es decir, la innovación.<sup>35</sup>

El nacimiento de esas redes obedece a una estrategia de búsqueda de conocimiento por parte de las organizaciones involucradas, lo que hace que las redes mundiales de innovación se diferencien de las redes mundiales de producción que siguen estrategias más centradas en la eficiencia y la búsqueda de nuevos mercados. Así pues, las redes mundiales de innovación se orientan hacia el intercambio y la integración de conocimientos y la innovación posterior, y no hacia la producción o la simple fabricación.<sup>36</sup> La internacionalización de la I+D corporativa es en gran parte responsable de la formación de estas redes mundiales de innovación.

Desde esta perspectiva, las empresas multinacionales pueden ejercer una fuerte influencia sobre la concentración geográfica y la difusión global –la forma– de las redes mundiales de innovación decidiendo dónde ubicar la inversión, la producción y el

aprovisionamiento de conocimientos.<sup>37</sup> Las condiciones geográficas y el sistema de innovación sectorial existente son particularmente importantes debido a su condición de impulsores de las etapas más sofisticadas y de mayor valor añadido de las cadenas de suministro, como la I+D, el diseño o los servicios empresariales avanzados.<sup>38</sup> La deslocalización de las actividades de I+D ha creado nuevas arquitecturas interconectadas de innovación e investigación, así como modelos innovadores de ubicación con las actividades de producción. Esto ha generado nuevas oportunidades para que las regiones y las ciudades se vinculen a diferentes partes o funciones de las cadenas globales de suministro en modos que favorezcan la modernización económica y la innovación.

Al mismo tiempo, la participación global supone un reto para las regiones más débiles, que se arriesgan a quedar atrapadas en actividades de bajo valor añadido y con un escaso componente de innovación. La desigualdad geográfica en la participación y la integración en las redes mundiales de producción y las cadenas globales de valor genera nuevos patrones núcleo-periferia en la geografía mundial de la innovación.

En la mayor parte de la bibliografía sobre negocios internacionales relacionada con esta cuestión se señala que los vínculos basados en organizaciones –tanto intra como interempresariales– son los responsables de la formación de redes mundiales de innovación.<sup>39</sup> Las convenciones internacionales –el indicador arquetípico de las redes mundiales de innovación– se han expandido enormemente a la India y China desde la década de 2000, pero una gran proporción sigue estando bajo el control de empresas de los Estados Unidos, el Japón y unos pocos países de Europa Occidental. Esto sugiere que las empresas pueden, y de hecho lo hacen, dividir el proceso de I+D en múltiples etapas/segmentos –como hacen con los bienes–, lo que permite que nuevos países participen en los diferentes segmentos de acuerdo con sus ventajas comparativas.<sup>40</sup> Esto facilita la transformación de las cadenas globales de valor o redes mundiales de producción existentes en redes mundiales de innovación.

Además, un número cada vez mayor de estudios sugiere que las relaciones personales, aparte de las basadas en las organizaciones, son también impulsoras fundamentales de la formación de redes mundiales de innovación.<sup>41</sup> Estas relaciones van desde

colaboraciones internacionales directas de persona a persona relacionadas con la innovación hasta la movilidad internacional de científicos, innovadores y emprendedores.<sup>42</sup> No obstante, esta colaboración basada en las personas se enmarca con frecuencia en un contexto organizacional. Tradicionalmente, las redes internas de las multinacionales han sido un medio adecuado para superar parcialmente las barreras relacionadas tanto con la distancia geográfica como con las diferentes culturas nacionales. Sin embargo, la reciente disminución de los costos de los viajes y las comunicaciones ha favorecido sin duda el aumento de los vínculos internacionales basados en las personas y no ligados a estructuras organizativas conexas.<sup>43</sup>

### 1.3 Conclusiones

Siempre han existido núcleos de innovación o áreas geográficas en las que esta se concentra: Manchester fue a la primera revolución industrial lo que San Francisco es a la tercera. Sin embargo, durante un largo período entre estas dos revoluciones, pareció que dentro de las economías avanzadas la expansión de la capacidad de innovación era progresiva. La intensa concentración de la innovación desde finales del siglo XX requiere, por tanto, un estudio más pormenorizado.

Las empresas solían agruparse a lo largo de las cadenas de suministro. En la primera y segunda revoluciones industriales, la actividad de innovación y las principales actividades productivas se ubicaron, dando lugar a grandes ciudades industriales, algunas de las cuales también fueron centros de I+D y desarrollo de productos. En el último siglo, esos patrones de aglomeración han cambiado lentamente; las opciones de ubicación se han visto más determinadas por la necesidad de poder compartir competencias –especialmente en el sector de los servicios– como el acceso a reservas de trabajadores en sectores de innovación diferentes pero relacionados entre sí.<sup>44</sup> En la tercera revolución industrial, muchas industrias no requieren una gran cantidad de capital para sus actividades de producción, y las cadenas globales de suministro y de valor son mucho más largas y complejas. Como resultado, las principales aglomeraciones urbanas de innovación se especializan hoy en día en las tareas abstractas, cognitivas y conceptuales de la I+D y la innovación. Estos sectores altamente especializados y los amplios sectores de servicios complementarios han desplazado la tradicional ubicación de las tareas rutinarias de producción que se daba en el pasado.<sup>45</sup>

Las consecuencias de esta nueva concentración de la actividad innovadora son de gran alcance. En última instancia, la distribución geográfica de la innovación determina la trayectoria de desarrollo económico de las ciudades y las regiones. Una característica destacada de la geografía del desarrollo económico en los últimos tiempos es la divergencia interregional de los ingresos dentro de los países (véase el capítulo 5). En términos generales, las grandes áreas metropolitanas –caldos de cultivo de los ecosistemas aglomerados de innovación– están superando cada vez más a otras regiones en términos de crecimiento de los ingresos.

Sin embargo, también existen divergencias dentro de estas grandes áreas metropolitanas. Los empleos en actividades relacionadas con la innovación tienden a pagar salarios más altos. El rápido crecimiento en una zona geográfica concentrada y un sector determinado puede tener repercusiones adicionales en la economía local. Si bien los empleos de alta cualificación crean un número mayor de empleos de baja cualificación, la afluencia de personas de altos ingresos, combinada con una oferta limitada de viviendas, suele generar una creciente desigualdad y una disminución de la renta disponible en los hogares con bajos ingresos.<sup>46</sup> En última instancia, esto puede dar lugar a una mayor segregación por grupos de competencias en zonas innovadoras y con un alto nivel de ingresos y en zonas no innovadoras y con bajos ingresos, y a que las personas poco cualificadas se vean excluidas de las oportunidades y comodidades de vivir y trabajar en un entorno innovador.<sup>47</sup>

Estos patrones parecen prevalecer en los mayores núcleos de innovación de escala mundial en todo el planeta, que albergan las principales empresas multinacionales basadas en el conocimiento y son los verdaderos beneficiarios de la globalización por su condición de centros de toma de decisiones y control empresarial, de generación e intercambio de conocimientos, de competencias y de puestos de trabajo. Pero su prosperidad va acompañada de altos niveles de desigualdad de ingresos y segregación espacial, lo que para algunos constituye una nueva “crisis urbana”.<sup>48</sup>

No se dispone todavía de suficientes datos para extraer conclusiones sólidas sobre las causas y consecuencias de la concentración y la difusión de la actividad innovadora. En parte, esto puede deberse a la compleja naturaleza de los procesos de innovación y a su incierto impacto. No obstante, incluso si el conocimiento de que actualmente disponemos es limitado, las consecuencias a largo plazo de estos fenómenos merecen ser estudiadas en profundidad.

## Notas

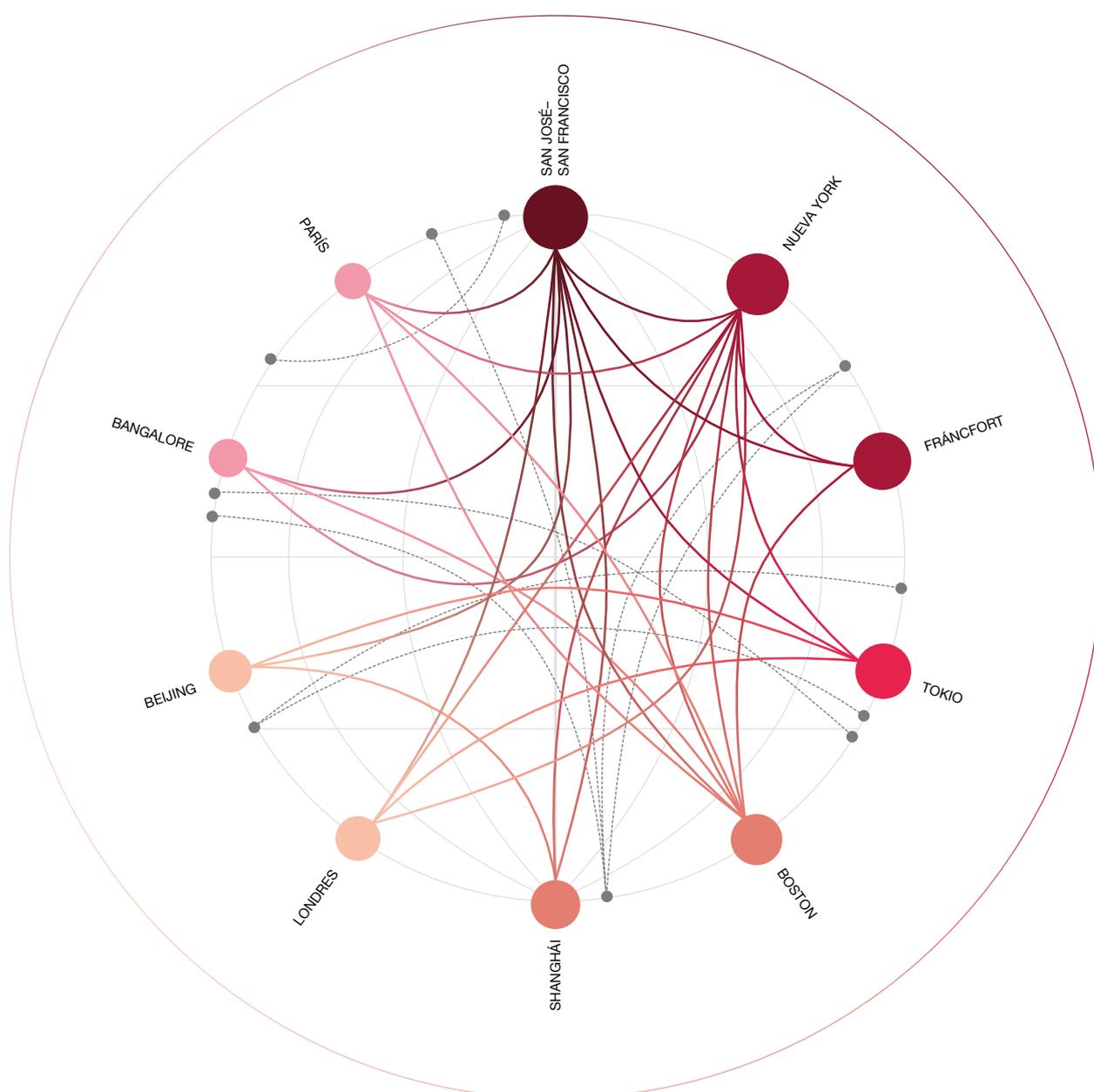
- 1 Este capítulo se nutre de Crescenzi *et al.* (2019b).
- 2 Acemoglu *et al.* (2005), Mokyr (2005) y OMPI (2015).
- 3 Crafts y Venables (2003).
- 4 Storper (2018).
- 5 Glaeser y Maré (2001).
- 6 Crescenzi *et al.* (2007).
- 7 Kemeny y Storper (2019).
- 8 Scott y Storper (1987).
- 9 Crescenzi *et al.* (2019b).
- 10 Krugman (1991).
- 11 Boschma y Frenken (2006).
- 12 Estas tres externalidades se conocen como externalidades de Marshall (Krugman, 1991).
- 13 Boschma y Frenken (2006).
- 14 Lécuyer (2006).
- 15 Se denominan externalidades jacobsonianas (Jacobs, 1961).
- 16 Frenken *et al.* (2007).
- 17 Chatterji *et al.* (2013).
- 18 Mazzucato (2015).
- 19 Hardin (2008).
- 20 Véase, por ejemplo, Hershberg *et al.* (2007).
- 21 Crescenzi *et al.* (2019b).
- 22 Davis y Dingel (2019) y Feldman *et al.* (2005).
- 23 Bathelt *et al.* (2004), Boschma (2005) y Frenken *et al.* (2007).
- 24 OMPI (2017).
- 25 Archibugi y Iammarino (2002).
- 26 Crescenzi *et al.* (2019b).
- 27 Breschi *et al.* (2017).
- 28 Branstetter *et al.* (2014). Véase también el capítulo 2.
- 29 Nieto y Rodríguez (2011).
- 30 Iammarino y McCann (2018).
- 31 Boschma (2005).
- 32 Cantwell (1995).
- 33 Chaminade *et al.* (2016).
- 34 Cano-Kollmann *et al.* (2016).
- 35 Barnard y Chaminade (2011).
- 36 Chaminade *et al.* (2014).
- 37 Crescenzi *et al.* (2019a).
- 38 Alcácer y Chung (2007) y Chidlow *et al.* (2009).
- 39 Bathelt *et al.* (2004).
- 40 Branstetter *et al.* (2014).
- 41 Lorenzen y Mudambi (2013).
- 42 Breschi *et al.* (2017) y Saxenian (1994, 1999).
- 43 Cano-Kollman *et al.* (2016).
- 44 Diodato *et al.* (2018).
- 45 Crescenzi y Iammarino (2017) y Duranton y Puga (2005).
- 46 Moretti (2012).
- 47 Diamond (2016).
- 48 Florida (2017) y Rodríguez-Pose (2018).

## Referencias

- Acemoglu, D., S. Johnson and J.A. Robinson (2005). Institutions as a fundamental cause of long-run growth. In Aghion, P. and S.N. Durlauf (eds), *Handbook of Economic Growth*, Vol. 1. Amsterdam: Elsevier, 385–472.
- Alcácer, J. and W. Chung (2007). Location strategies and knowledge spillovers. *Management Science*, 53(5), 760–776.
- Archibugi, D. and S. Iammarino (2002). The globalization of technological innovation: definition and evidence. *Review of International Political Economy*, 9(1), 98–122.
- Barnard, H. and C. Chaminade (2011). Global Innovation Networks: Towards a Taxonomy. *Paper No. 2011/04*. Lund, Sweden: University of Lund, CIRCLE laboratory.
- Bathelt, H., A. Malmberg and P. Maskell (2004). Clusters and knowledge: local buzz, global pipelines and the process of knowledge creation. *Progress in Human Geography*, 28(1), 31–56.
- Boschma, R. (2005). Proximity and innovation: a critical assessment. *Regional Studies*, 39(1), 61–74.
- Boschma, R. and K. Frenken (2006). Why is economic geography not an evolutionary science? Towards an evolutionary economic geography. *Journal of Economic Geography*, 6, 273–302. [doi.org/10.1093/jeg/lbi022](https://doi.org/10.1093/jeg/lbi022).
- Branstetter, L., G. Li and F. Veloso (2014). The rise of international co-invention. In Jaffe, A.B. and B.F. Jones (eds), *The Changing Frontier: Rethinking Science and Innovation Policy*. Chicago, IL: University of Chicago Press, 35–168.
- Breschi, S., F. Lissoni and E. Miguelez (2017). Foreign-origin inventors in the USA: testing for diaspora and brain gain effects. *Journal of Economic Geography*, 17, 1009–1038.
- Cano-Kollmann, M., J. Cantwell, T.J. Hannigan, R. Mudambi and J. Song (2016). Knowledge connectivity: An agenda for innovation research in international business. *Journal of International Business Studies*, 47(3), 255–262. [doi.org/10.1057/jibs.2016.8](https://doi.org/10.1057/jibs.2016.8)
- Cantwell, J. (1995). The globalisation of technology: what remains of the product cycle model? *Cambridge Journal of Economics*, 19(1), 155–174.
- Chaminade, C., C. De Fuentes, G. Harirchi and M. Plechero (2016). The geography and structure of global innovation networks: global scope and regional embeddedness. In Shearmur R., C. Carrincazeaux and D. Doloreux (eds), *Handbook on the Geographies of Innovation*. Cheltenham: Edward Elgar.
- Chatterji, A., E. Glaeser and W. Kerr (2013). Clusters of Entrepreneurship and Innovation. *NBER Working Paper 19013*. Cambridge, MA: National Bureau of Economic Research.
- Chidlow, A., L. Salciuvienė and S. Young (2009). Regional determinants of inward FDI distribution in Poland. *International Business Review*, 18(2), 119–133.
- Crafts, N. and T. Venables (2003). Globalization in history: A geographical perspective. In Bordo, M.D., A.M. Taylor and J.G. Williamson (eds), *Globalization in Historical Perspective*. Chicago, IL: University of Chicago Press, 323–370.
- Crescenzi, R. and S. Iammarino (2017). Global investments and regional development trajectories: the missing links. *Regional Studies*, 51(1), 97–115.
- Crescenzi, R., O. Harman and D. Arnold (2019a). Move On Up! Building, Embedding and Reshaping Global Value Chains Through Investment Flows. Insights for Regional Innovation Policies. *Working Paper*. Paris: OECD.
- Crescenzi, R., S. Iammarino, C. Ioramashvili, A. Rodríguez-Pose and M. Storper (2019b). The Geography of Innovation: Local Hotspots and Global Innovation Networks. *WIPO Economic Research Working Paper No. 57*. Geneva: WIPO.
- Crescenzi, R., A. Rodríguez-Pose and M. Storper (2007). On the geographical determinants of innovation in Europe and the United States. *Journal of Economic Geography*, 7(6), 673–709.
- Davis, D.R. and J.I. Dingel (2019). A spatial knowledge economy. *American Economic Review*, 109(1), 153–170.
- Diamond, R. (2016). The determinants and welfare implications of US workers' diverging location choices by skill: 1980–2000. *American Economic Review*, 106(3), 479–524.
- Diodato, D., F. Neffke and N. O'Clery (2018). Why do industries coagglomerate? How Marshallian externalities differ by industry and have evolved over time. *Journal of Urban Economics*, 106, 1–26.
- Duranton, G. and D. Puga (2005). From sectoral to functional urban specialisation. *Journal of Urban Economics*, 57(2), 343–370.

- Feldman, M., J. Francis and J. Bercovitz (2005). Creating a cluster while building a firm: entrepreneurs and the formation of industrial clusters. *Regional Studies*, 39(1), 129–141.
- Florida, R. (2017). *The New Urban Crisis*. New York: Basic Books.
- Frenken, K., F. Van Oort and T. Verburg (2007). Related variety, unrelated variety and regional economic growth. *Regional Studies*, 41(5), 685–697.
- Glaeser, E.L. and D.C. Maré (2001). Cities and skills. *Journal of Labor Economics*, 19(2), 316–342.
- Hardin, J.W. (2008). North Carolina's Research Triangle Park. Overview, history, success factors and lessons learned. In Hulsink, W. and H. Dons (eds), *Pathways to High-Tech Valleys and Research Triangles*. Wageningen UR Frontis Series, 24. Dordrecht: Springer, 27–51.
- Hershberg, E., K. Nabeshima and S. Yusuf (2007). Opening the ivory tower to business: university–industry linkages and the development of knowledge-intensive clusters in Asian cities. *World Development*, 35(6), 931–940.
- Iammarino, S. and P. McCann (2018). Network geographies and geographical networks: co-dependence and co-evolution of multinational enterprises and space. In Clark, G.L., M.P. Feldman, M.S. Gertler and D. Wójcik (eds), *The New Oxford Handbook of Economic Geography*. Oxford: Oxford University Press.
- Jacobs, J. (1961). *The Death and Life of Great American Cities*. New York: Random House.
- Kemeny, T. and M. Storper (2019). Superstar Cities and Left Behind Places: Disruptive Innovation, Labor Demand and Interregional Inequality. Paper presented at the 40<sup>th</sup> Annual Meeting of the Italian Regional Science Association, L'Aquila, Italy, September.
- Krugman, P. (1991). Increasing returns and economic geography. *Journal of Political Economy*, 99(3), 483–499.
- Lécuyer, C. (2006). *Making Silicon Valley: Innovation and the Growth of High Tech, 1930–1970*. Cambridge, MA: MIT Press.
- Lorenzen, M. and R. Mudambi (2013). Clusters, connectivity and catch-up: Bollywood and Bangalore in the global economy. *Journal of Economic Geography*, 13, 501–534. doi.org/10.1093/jeg/lbs017
- Mazzucato, M. (2015). *The Entrepreneurial State: Debunking Public vs. Private Sector Myths*. London: Anthem Press.
- Mokyr, J. (2005). The intellectual origins of modern economic growth. *The Journal of Economic History*, 65(2), 285–351.
- Moretti, E. (2012). *The New Geography of Jobs*. Boston, MA: Houghton Mifflin Harcourt.
- Nieto, M.J. and A. Rodríguez (2011). Offshoring of R&D: looking abroad to improve innovation performance. *Journal of International Business Studies*, 42, 345–361.
- Rodríguez-Pose, A. (2018). The revenge of the places that don't matter (and what to do about it). *Cambridge Journal of Regions, Economy and Society* 11(1), 189–209.
- Saxenian, A. (1994). Regional networks: industrial adaptation in Silicon Valley and route 128. *Cityscape*, 2(2), 41–60.
- Saxenian, A. (1999). *Silicon Valley's New Immigrant Entrepreneurs*. San Francisco, CA: Public Policy Institute of California.
- Scott, A.J. and M. Storper (1987). High technology industry and regional development: a theoretical critique and reconstruction. *International Social Science Journal*, 112, 215–232.
- Storper, M. (2018). Regional innovation transitions. In Glückler, J., R. Suddaby and R. Lenz (eds), *Knowledge and Institutions*. Frankfurt: Springer, 197–225.
- WIPO (2015). *World Intellectual Property Report 2015. Breakthrough Innovation and Economic Growth*. Geneva: WIPO.
- WIPO (2017). *World Intellectual Property Report 2017. Intangible Capital in Global Value Chains*. Geneva: WIPO.

Los 10 primeros núcleos de innovación colaborativos del mundo representan el 26% del total de coinvencciones internacionales.



# Las redes mundiales de los núcleos de innovación

**Durante buena parte del siglo XX, las empresas multinacionales de los países de ingresos altos limitaron su actividad de I+D en el exterior a otras economías ricas, en particular los Estados Unidos, los países de Europa Occidental y, posteriormente, el Japón. Ello contrasta con la tendencia observada en las actividades de fabricación, donde se observó un aumento de la subcontratación externa de economías más ricas a economías de ingresos medianos y en desarrollo.<sup>1</sup>**

A comienzos de las décadas de 1980 y 1990, la situación cambió. La creación de conocimientos científicos y tecnológicos requirió una mayor interacción entre instituciones y organizaciones, públicas o privadas, nacionales o multinacionales, y con independencia de su ubicación. Poco a poco, China, la India, Europa Oriental y otras economías de ingresos medianos fueron ganando importancia como destinos de inversión extranjera directa orientada a la I+D de empresas multinacionales y como fuentes de nuevos conocimientos.

La necesidad creciente de conocimientos complejos y especializados e interacciones en el ámbito tecnológico y a escala nacional e internacional tuvo como consecuencia, paradójicamente al mismo tiempo, una mayor concentración y dispersión geográfica de la creación de innovaciones, como se indica en el capítulo 1. Por un lado, las organizaciones han intentado llevar las actividades e interacciones en materia de innovación allí donde hubiera una alta calidad y un costo bajo. Por otro, las fuerzas del mercado, las economías de escala y la necesidad de una mayor comunicación personal e interacción multidisciplinaria, dada la complejidad de dichas interacciones, han impulsado una mayor proximidad geográfica.

Las redes mundiales de innovación han sido una fuerza centrífuga clave de la distribución geográfica de la actividad de creación de conocimiento. La inversión extranjera directa de búsqueda de conocimientos no se dirige a países enteros, sino a lugares específicos dentro de estos. La mayoría de las colaboraciones, inversiones y migraciones internacionales de trabajadores cualificados se da entre centros específicos de producción de conocimientos. Sin embargo, las redes mundiales de innovación no solo atraviesan las fronteras, sino que además crean vínculos entre lugares específicos de los países y refuerzan el protagonismo nacional de dichos lugares; dentro de las fronteras nacionales, ciertas subredes interregionales de innovación coexisten con las mundiales.

En vista de lo anterior, es crucial entender empíricamente la concentración y la distribución geográfica de la producción y las interacciones de conocimientos

técnicos y científicos a nivel mundial. Para ello se necesita repertoriar minuciosamente la actividad de innovación dentro de las fronteras nacionales y la manera en que contribuye a la dispersión mundial de los intercambios de conocimiento. En particular, es importante examinar si el crecimiento de los centros nacionales de producción de conocimientos tiene como consecuencia un incremento general de la colaboración e inversión internacional o si estos simplemente absorben las actividades de innovación en detrimento de otras áreas del país, o bien si se va más allá de un juego de suma cero. Esto puede ser especialmente relevante para las economías en desarrollo, cuyos sistemas nacionales de innovación pueden hacerse menos dependientes de las operaciones de I+D de empresas multinacionales extranjeras gracias al fortalecimiento de las empresas locales y a la aplicación de políticas públicas específicas para promover la innovación local sustituyendo o aprovechando sus colaboraciones nacionales e internacionales.

Además, la globalización del conocimiento produce desequilibrios en la distribución de la actividad innovadora dentro de los países. A medida que los centros de producción de conocimientos de todo el mundo adquieren importancia e intensifican sus intercambios, las ciudades y regiones que no participan en dichos intercambios corren el riesgo de quedar marginadas (véase el capítulo 5).

En el presente capítulo se analiza la evolución de las interacciones mundiales de creación de conocimientos y el modo en que las fuerzas centrífugas y centrípetas descritas en el capítulo 1 generan redes mundiales de núcleos de innovación y conglomerados sectoriales especializados sumamente concentrados. El capítulo utiliza una base de datos novedosa de publicaciones científicas geocodificadas —artículos científicos y actas de conferencias— y patentes para hacer un seguimiento de la evolución (véase el recuadro 2.1) y poner la atención en una serie de tendencias a largo plazo, desde mediados de la década de 1970.

El capítulo se organiza en cuatro secciones. La primera sección examina la medida en que se ha internacionalizado la producción de conocimientos científicos y tecnológicos, y se centra en el aumento de la participación de países de ingresos medianos, especialmente China. Asimismo, aporta pruebas complementarias sobre el modo en que la producción de conocimientos se va concentrando más geográficamente, al identificar las principales aglomeraciones de innovación

—núcleos de innovación y conglomerados especializados— de cada país. En la segunda sección se analizan las interacciones científicas y tecnológicas de los países y se aportan pruebas adicionales de la globalización observada en el ámbito de la innovación. Se pone de relieve el papel de la subcontratación externa de conocimientos internacionales por las empresas como motor de desarrollo de las redes mundiales de innovación. En la tercera sección se explora hasta qué punto los dos tipos de aglomeraciones se sincronizan para formar una red de innovación propiamente mundial. En la sección final se explican detalladamente las principales conclusiones del capítulo.

---

### Recuadro 2.1 Datos geocodificados de publicaciones científicas y de patentes

#### Datos de patentes

Los datos de patentes utilizados en este informe abarcan todos los documentos de solicitudes de patentes (concedidas o no) presentadas entre 1970 y 2017 en todas las oficinas de patentes del mundo y disponibles en la base de datos PATSTAT de la Oficina Europea de Patentes (OEP) y en las colecciones del Tratado de Cooperación en materia de Patentes (PCT) de la OMPI. La unidad de análisis es la primera solicitud presentada, un conjunto de documentos de patente presentados en uno o varios países que reivindican la misma invención. Se define como familia de patentes una serie de documentos que contienen una primera solicitud presentada y potencialmente varias solicitudes posteriores. En el análisis, las familias de patentes se dividen en familias de patentes multijurisdiccionales y familias de patentes nacionales. Las familias de patentes multijurisdiccionales hacen referencia a las solicitudes de protección por patente presentadas en al menos una jurisdicción distinta al país de residencia del solicitante. En este grupo se incluyen las familias de patentes que contienen únicamente documentos de patente presentados ante la OEP o por conducto del PCT. Por el contrario, las familias de patentes nacionales hacen referencia solo a las solicitudes presentadas en el país de origen (por ejemplo, si un solicitante residente en el Japón presenta una sola solicitud ante la Oficina Japonesa de Patentes). En la medida de lo posible, la geocodificación —es decir, la asignación de coordenadas geográficas a una ubicación específica— se refiere al proceso

consistente en identificar la dirección del inventor según la fuente de información más adecuada que puede obtenerse en una familia de patentes.<sup>2</sup> Muchas direcciones se geocodifican a un nivel muy preciso (de calle o manzana), pero otras solo según su código postal u otro nivel de distrito. Para seguir siendo comparables a escala internacional y también debido a la limitada constancia de direcciones de inventores en algunas colecciones nacionales, el análisis se basa únicamente en las patentes multijurisdiccionales.

#### Datos de publicaciones científicas

Los datos de publicaciones científicas utilizados en el informe provienen de registros de 1998 a 2017 en *Science Citation Index Expanded (SCIE)* de *Web of Science*, la base de datos de citas dirigida por la empresa Clarivate Analytics. El análisis se centra en las observaciones referidas a artículos científicos y actas de conferencias, que suponen la mayor parte de dicha información.

En el informe se entiende que la investigación realizada en cada publicación se llevó a cabo en las instituciones y organizaciones a las que el autor dijo pertenecer. Prácticamente todas estas ubicaciones fueron geocodificadas por código postal o distrito. Para los autores afiliados a más de una institución u organización, todas las direcciones se tienen en cuenta.

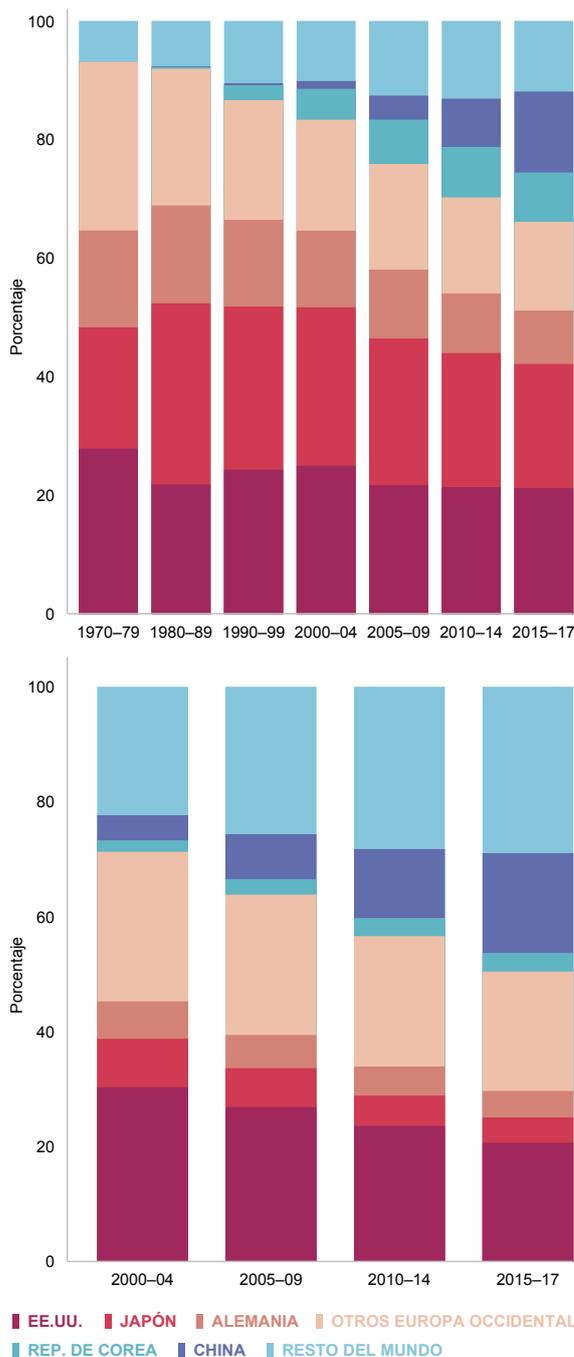
## 2.1 Las dos caras de la producción mundial de conocimientos

### La creación de conocimientos se extiende a nivel internacional cada vez más rápidamente

¿Dónde tiene lugar la producción de conocimientos? ¿La distribución geográfica de esa producción es diferente de otras actividades económicas? Los datos empíricos indican que la actividad relacionada con la producción de conocimientos —como, por ejemplo, el gasto en I+D, la generación de patentes o publicaciones científicas— suele estar más concentrada geográficamente dentro de los países que otras actividades económicas principales, la población, el comercio o la inversión

## Dos décadas de aceleración en la expansión de la producción de conocimientos

Gráfico 2.1 Evolución del porcentaje de la actividad de patentamiento (arriba) y publicación (abajo) de las principales economías



Fuente: OMPI, a partir de datos de PATSTAT, el PCT y *Web of Science* (véanse las notas técnicas).

Notas: En Europa Occidental (otros) no se incluye Alemania. Las cifras de patentamiento se basan en las familias internacionales de patentes.

extranjera directa. Pese a esta mayor concentración, la tendencia mundial lleva poco a poco a cierto grado de dispersión geográfica internacional de la innovación.<sup>3</sup>

Durante la mayor parte del período comprendido entre 1970 y 2000, tres países (Estados Unidos, el Japón y Alemania) representaban ellos solos dos tercios de toda la actividad de patentamiento de todo el mundo (gráfico 2.1). Si se incluían las demás economías de Europa Occidental —en particular el Reino Unido, Francia, Suiza e Italia—, la cifra rondaba el 90%.

Sin embargo, el porcentaje de producción de nuevas tecnologías por parte del resto del mundo, según refleja el número de patentes, fue aumentando durante esas tres décadas, sobre todo a costa de varias economías de Europa Occidental. El resto del mundo pasó de representar menos del 6% a principios de la década de 1970 a más del 13% a principios de la década de 2000. Además, solo una pequeña parte de dicha expansión se debió a la República de Corea y China.

En las dos últimas décadas, la tendencia se ha acelerado considerablemente en el caso de la producción tecnológica (patentes) y científica. El resto del mundo representa casi un tercio de toda la actividad de patentamiento en la década de 2010. Los datos científicos publicados se han distribuido más ampliamente, y es que el resto del mundo ha pasado de producir menos de una cuarta parte de todas las publicaciones científicas a cerca de la mitad aproximadamente en el mismo período.

Durante este período, el resto del mundo —un grupo heterogéneo en el que se incluyen algunos países de ingresos altos como el Canadá o la República de Corea y sobre todo economías de ingresos medianos y bajos— ha superado en porcentaje de producción de conocimientos no solo a Europa Occidental, sino también a los Estados Unidos y el Japón. Sin duda, China y la República de Corea representan una parte notable de dicha dispersión internacional, pero no son su única causa. De hecho, aun incluyendo estas dos economías asiáticas en el mismo grupo que Europa Occidental, los EE. UU. y el Japón, el resto del mundo sigue aumentando su proporción en ambos indicadores de producción de conocimientos.

¿Qué factores explican esta expansión? El primero y más importante es el ascenso de los países asiáticos en cuanto que agentes mundiales de innovación: desde la década de 2000, Asia en su conjunto ha aumentado su porcentaje en el número total de patentes concedidas

(del 32% al 48%) y también del total de publicaciones científicas (del 17% al 36%). Esto refleja el ascenso de China y la República de Corea pese al relativo descenso de la proporción del Japón en la actividad de patentamiento y publicación.

Además, teniendo en cuenta su bajo punto de partida, muchas economías de Asia Occidental, Meridional, Central y Sudoriental han aumentado notablemente su porcentaje en la actividad de patentamiento (cuadro 2.1). Lo mismo ocurre con las publicaciones científicas, dado que su porcentaje pasó del 5% a más del 10% en solo dos décadas. Entre estas economías destacan Turquía, Israel, la India, Singapur y la República Islámica del Irán como principales productores de innovación.

Las economías de otros continentes también han contribuido a la expansión geográfica de la innovación en las últimas dos décadas, especialmente en relación con las publicaciones científicas. Oceanía, impulsada sobre todo por Australia, ha registrado un aumento pequeño pero estable en su porcentaje de publicación científica, aunque el de patentamiento ha disminuido desde inicios de la década de 2000. En las economías de América Latina y el Caribe se ha observado un aumento del 36% en el porcentaje de publicaciones científicas durante las dos últimas décadas y se ha duplicado el de patentamiento desde la década de 1970, aunque su punto de partida era muy bajo. Los países de África registraron un incremento relativamente alto en su porcentaje de publicación científica, pero el de patentamiento, ya muy bajo de por sí, registró una caída. Al inicio de este período, los países de Europa Central y Oriental, liderados por la Federación de Rusia, consiguieron el porcentaje más alto de productos de innovación después de América del Norte, Europa Occidental y Asia Oriental. Sin embargo, posteriormente estas economías sufrieron una fuerte caída en el porcentaje de patentamiento y otra menor en el de publicación científica.

En cada una de estas regiones también se observa una alta concentración en pocos países, sobre todo en el patentamiento. Así ocurre en la India y la República Islámica del Irán en Asia Meridional y Central; Singapur en Asia Sudoriental; la Federación de Rusia y Polonia en Europa Central y Oriental; el Brasil y México en América Latina; Israel y Turquía en Oriente Medio; Australia en Oceanía; y Egipto y Sudáfrica en África. Estos líderes regionales representan una parte muy importante de la pequeña actividad de patentamiento que tiene lugar en sus subcontinentes. Además, concentran muchas publicaciones científicas, en particular el Brasil en

## La proporción de Asia en la innovación aumenta con fuerza

**Cuadro 2.1 Evolución de la actividad de patentamiento y publicación científica, regiones y países seleccionados**

Región (país)	Patentes							Publicaciones			
	1970-79	1980-89	1990-99	2000-04	2005-09	2010-14	2015-17	2000-04	2005-09	2010-14	2015-17
<b>Asia MCSO</b>	<b>0,1%</b>	<b>0,1%</b>	<b>0,6%</b>	<b>1,0%</b>	<b>1,6%</b>	<b>2,1%</b>	<b>2,0%</b>	<b>3,2%</b>	<b>4,8%</b>	<b>6,7%</b>	<b>7,5%</b>
India	0,0%	0,0%	0,1%	0,5%	1,0%	1,4%	1,3%	2,0%	2,6%	3,2%	3,5%
Singapur	0,0%	0,0%	0,1%	0,3%	0,4%	0,4%	0,3%	0,4%	0,5%	0,5%	0,5%
<b>ECO</b>	<b>3,2%</b>	<b>3,8%</b>	<b>4,9%</b>	<b>1,1%</b>	<b>1,3%</b>	<b>1,4%</b>	<b>1,3%</b>	<b>5,8%</b>	<b>5,9%</b>	<b>5,8%</b>	<b>5,6%</b>
Federación de Rusia	0,7%	1,4%	2,7%	0,4%	0,5%	0,5%	0,4%	2,4%	1,9%	1,7%	1,8%
Polonia	0,2%	0,1%	0,1%	0,1%	0,1%	0,2%	0,2%	1,1%	1,3%	1,3%	1,3%
<b>ALC</b>	<b>0,3%</b>	<b>0,3%</b>	<b>0,3%</b>	<b>0,4%</b>	<b>0,5%</b>	<b>0,6%</b>	<b>0,6%</b>	<b>3,0%</b>	<b>3,5%</b>	<b>4,0%</b>	<b>4,0%</b>
Brasil	0,1%	0,1%	0,1%	0,2%	0,2%	0,3%	0,3%	1,5%	2,0%	2,3%	2,3%
<b>Asia Occidental</b>	<b>0,3%</b>	<b>0,3%</b>	<b>0,7%</b>	<b>1,1%</b>	<b>1,4%</b>	<b>1,6%</b>	<b>1,7%</b>	<b>2,3%</b>	<b>2,8%</b>	<b>3,0%</b>	<b>3,1%</b>
Turquía	0,0%	0,0%	0,0%	0,1%	0,2%	0,3%	0,4%	1,0%	1,5%	1,7%	1,7%
Israel	0,2%	0,3%	0,6%	0,9%	1,2%	1,1%	1,1%	0,9%	0,8%	0,6%	0,6%
<b>Oceanía</b>	<b>0,8%</b>	<b>1,1%</b>	<b>1,1%</b>	<b>1,4%</b>	<b>1,3%</b>	<b>0,9%</b>	<b>0,9%</b>	<b>2,4%</b>	<b>2,4%</b>	<b>2,6%</b>	<b>2,8%</b>
Australia	0,7%	1,0%	1,0%	1,2%	1,1%	0,8%	0,8%	2,0%	2,1%	2,3%	2,5%
<b>África</b>	<b>0,3%</b>	<b>0,2%</b>	<b>0,2%</b>	<b>0,3%</b>	<b>0,2%</b>	<b>0,2%</b>	<b>0,2%</b>	<b>1,1%</b>	<b>1,3%</b>	<b>1,6%</b>	<b>1,8%</b>
Egipto	0,0%	0,0%	0,0%	0,0%	0,0%	0,0%	0,0%	0,3%	0,3%	0,4%	0,5%
Sudáfrica	0,2%	0,2%	0,2%	0,2%	0,2%	0,1%	0,1%	0,3%	0,4%	0,4%	0,4%
<b>Total</b>	<b>4,8%</b>	<b>5,8%</b>	<b>7,8%</b>	<b>5,3%</b>	<b>6,4%</b>	<b>6,8%</b>	<b>6,7%</b>	<b>17,8%</b>	<b>20,7%</b>	<b>23,6%</b>	<b>24,9%</b>

Fuente: OMPI, a partir de datos de PATSTAT, el PCT y *Web of Science* (véanse las notas técnicas).

Notas: ECO = Europa Central y Oriental; ALC = América Latina y el Caribe; Asia MCSO = Asia Meridional, Central y Sudoriental. Las cifras de patentamiento se basan en las familias internacionales de patentes.

América Latina y la India y la República Islámica del Irán en Asia Meridional y Central.

Las innovaciones difieren entre sí por su valor científico y tecnológico. Los productos científicos y tecnológicos que son disruptivos y pioneros influyen en los posteriores y, como consecuencia de ello, se citan más. Las economías de altos ingresos gastan más en producir esos productos innovadores y pioneros. Aunque sean un indicador imperfecto del valor económico, las citas de patentes y publicaciones científicas también muestran lo visible y reconocida que es una investigación para los demás innovadores, y, por tanto, su valor.

Los datos de patentamiento y de publicación científica indican que la innovación se concentra más cuanto más valiosa (más citada) es (gráfico 2.2). En particular, los Estados Unidos tienen un porcentaje desproporcionado de citas en patentes y publicaciones científicas, que eclipsa al resto de economías. Aun así, incluso en esta esfera se observa una tendencia a la dispersión. En las últimas dos décadas, los Estados Unidos, el Japón y

Europa Occidental han registrado una menor concentración en términos generales del valor de sus principales productos de innovación. De nuevo, destacan en este sentido China y la República de Corea, pero otras economías también han contribuido a la expansión de las innovaciones más citadas, aunque esta no haya sido tan rápida en el caso de patentes y publicaciones científicas menos citadas.

En definitiva, China parece ser la principal causante de la expansión mundial de la actividad de innovación tecnológica y científica de las últimas dos décadas, aunque muchos otros países también han contribuido a esa tendencia. Sin embargo, muchos países de ingresos más bajos se ven excluidos sistemáticamente de la innovación internacional.<sup>4</sup> Curiosamente, el reciente y repentino ascenso de China, y, en menor medida, el de la República de Corea, también son señal de una reconcentración mundial de los porcentajes de producción de innovación, pero en distintas ubicaciones. Esta reconcentración coincide con una tendencia similar observada en los porcentajes de gasto en I+D después

de 2008, al comienzo de la Gran Recesión, ya que tanto China como la República de Corea aumentaron su porcentaje en el gasto mundial de I+D. En resumidas cuentas, la producción de innovación ha aumentado en volumen y se ha distribuido de manera más global, pero sigue habiendo un limitado grupo de países que produce la mayor parte de la innovación.

### Aumento de la concentración: una cuestión local

La distribución geográfica de la actividad inventiva y científica en cada país es desigual. En un contexto de aumento y expansión internacional de la producción de innovación, se da un fenómeno interesante: no hay pruebas claras de que la producción de conocimientos se haya distribuido dentro de los países.

La mayor parte de la producción científica y tecnológica se suele acumular en unas pocas zonas administrativas de cada economía (cuadro 2.2). En los Estados Unidos, 3 de los 50 estados concentran casi el 40% de la producción inventiva (patentes) y casi el 30% de la producción científica (publicaciones). Y no hay que olvidar que la economía de Estados Unidos es, de entre las más grandes, la menos concentrada geográficamente. En el Japón, 3 de las 47 prefecturas concentran el 56% de las patentes y el 35% de las publicaciones científicas. En China, 3 de las 33 provincias agrupan el 60% de las patentes y casi el 40% de las publicaciones científicas. En Europa la concentración es mayor, pero el número de regiones es menor. En Alemania, 3 de los 16 estados federados concentran dos tercios de las patentes y la mitad de las publicaciones científicas. Del mismo modo, 3 de las 18 regiones francesas acumulan aproximadamente el 60% de la producción de conocimientos.

La concentración regional del patentamiento en esas economías ha aumentado en la última década. En todos los casos, salvo en Francia, las tres regiones principales (cuadro 2.2) acumulan más patentes en el período posterior comprendido entre 2011 y 2015, lo que evidencia un fenómeno de concentración, no de dispersión, dentro de los países. Es interesante señalar que las tres principales regiones no son necesariamente las mismas en los dos períodos, pero los cambios son pequeños. Sin embargo, respecto de la publicación científica, las tres principales regiones registran pocos cambios en los dos períodos mostrados en el gráfico. Las tres provincias principales de China son las tres

únicas que muestran una expansión geográfica clara de la producción científica. El hecho de que la ubicación y el presupuesto de las instituciones académicas sean el resultado de un proceso largo y complejo de toma de decisiones explica en parte la estabilidad de las tendencias relativas a la publicación científica.

Estas tendencias no solo se aplican a las principales economías innovadoras descritas en la sección anterior. En la mayoría de los países, unas pocas zonas se han convertido en verdaderos núcleos de innovación, muy por delante del resto del país. Así ocurre en la India, Australia y varios países de Asia Sudoriental, Oriente Medio, América Latina y África.

Sin embargo, existen dificultades importantes — comunes a todas las cuestiones de la geografía económica— para comparar países según las áreas administrativas subnacionales existentes. Las áreas administrativas pueden diferir notablemente en cuanto al tamaño, la población y la densidad de la actividad innovadora. Además, las fronteras administrativas quizá no coincidan con los límites del centro o aglomeración de innovación.<sup>5</sup> Un área administrativa puede abarcar dos o más aglomeraciones o estas pueden extenderse por varias áreas administrativas e incluso traspasar las fronteras de los países.

Existe una amplia bibliografía sobre análisis espacial donde se estudia esta conocida cuestión — que se denomina problema de la unidad de área modificable— y las distorsiones estadísticas que produce.<sup>6</sup> Para resolverlo, es necesario crear áreas comparables *ad hoc* que puedan usarse en lugar de las administrativas. En el recuadro 2.2 se explica detalladamente esta solución.

---

#### Recuadro 2.2

##### Cómo medir las aglomeraciones locales de innovación

El informe busca proporcionar una medida comparable a escala internacional de la aglomeración de la actividad científica y tecnológica. Para ello, usa las patentes multijurisdiccionales entre 1976 y 2015 y todas las publicaciones científicas publicadas entre 1998 y 2017 para identificar la principal concentración geográfica de innovación.

Las aglomeraciones se definen orgánicamente mediante un enfoque de identificación basado

en algoritmos que analizan la densidad, extraídos de la bibliografía sobre geografía económica.<sup>7</sup> En resumidas cuentas, el informe utiliza el algoritmo de agrupamiento espacial basado en densidad de aplicaciones con ruido (DBSCAN por sus siglas en inglés) para identificar aglomeraciones con independencia de los datos geocodificados de patentamiento y publicación científica. Los límites de cada aglomeración de la actividad de patentamiento y de publicación científica se determinan usando un método de polígono cóncavo. Los polígonos que se solapan se fusionan y se mantienen únicamente las fronteras exteriores de las aglomeraciones en cuestión. Las zonas exteriores obtenidas se denominan **núcleos de innovación de escala mundial (GIH, por sus siglas en inglés)** o sencillamente, **núcleos de innovación**. Para permitir la especialización científica y tecnológica, el método mencionado se repite en 25 submuestras de los mismos datos de publicación y patentamiento relativos a 12 ámbitos científicos y 13 tecnológicos respectivamente.<sup>8</sup> Solo se mantienen los polígonos resultantes de esas 25 iteraciones que no forman parte de un núcleo. A continuación, los polígonos que se solapan se fusionan del mismo modo que los núcleos de innovación. Las zonas exteriores finales se denominan **conglomerados sectoriales especializados**, o sencillamente **conglomerados sectoriales**.

Por definición, las zonas resultantes: 1) son **compañables internacionalmente**, ya que la misma densidad de publicación científica o de actividad de patentamiento (especializada) habría determinado el mismo núcleo (o conglomerado sectorial) en cualquier lugar del mundo; 2) pueden tener una **densidad científica y tecnológica diferente**, puesto que los núcleos de innovación y los conglomerados sectoriales solo necesitan una alta concentración de publicación científica o de actividad de patentamiento, pero no necesariamente ambos; 3) tienen una **densidad de especialización diferente**, dado que los conglomerados sectoriales se determinan con menores umbrales de densidad que los núcleos de innovación; 4) son **zonas geográficas diferenciadas**, lo que significa que los polígonos no se solapan ni entre sí ni con los núcleos de innovación o los conglomerados sectoriales; y 5) tienen **límites no predeterminados**, porque los núcleos de innovación y los conglomerados sectoriales pueden tener distintos tamaños y abarcar más de una ciudad, estado, provincia o país.

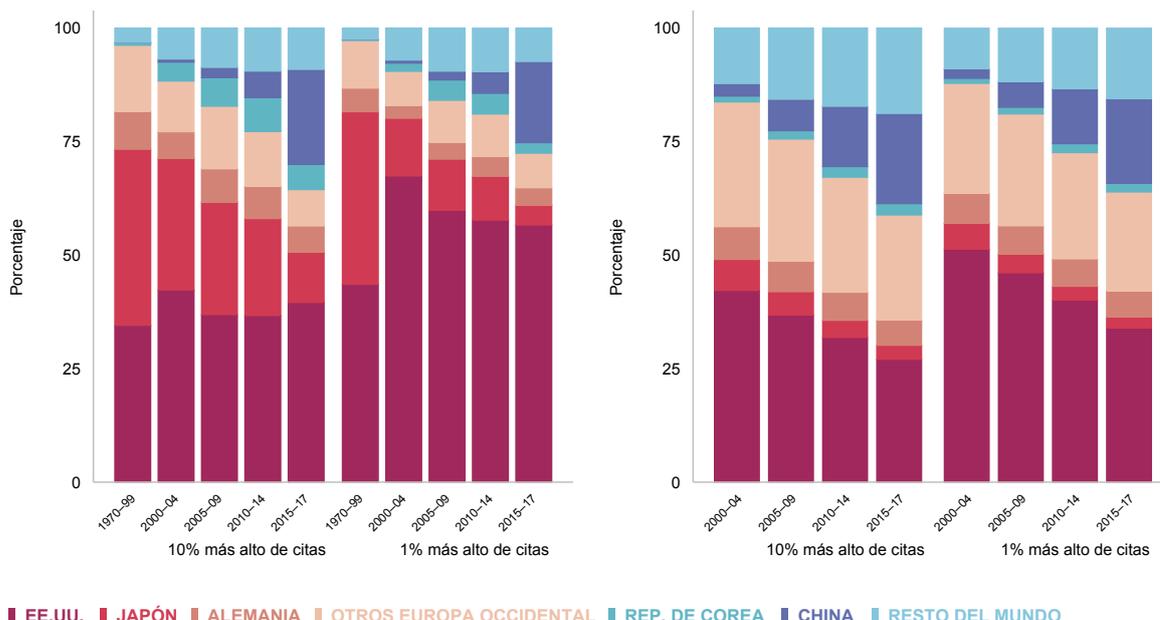
De acuerdo con esta metodología, existen 174 centros de innovación de escala mundial y 313 conglomerados sectoriales especializados en todo el mundo, que concentran entre todos el 85% de todas las patentes y el 81% de todos los artículos científicos y actas de conferencias publicados en todo el mundo. La contribución de los conglomerados sectoriales es relativamente pequeña. Por supuesto, en ellos también se incluyen las colaboraciones, es decir, las coinventiones y copublicaciones con socios fuera de estas áreas con densidad de innovación.

En gran medida, estas zonas con densidad de innovación coinciden con las grandes áreas urbanas, cosmopolitas y prósperas del mundo. Como se ha indicado, la innovación se concentra más que la actividad económica general y la población. Por ejemplo, solo 22 de las 35 áreas metropolitanas más pobladas del mundo forman parte de un núcleo de innovación de escala mundial (gráfico 2.3). Existe una enorme disparidad entre ellas: Beijing, Londres, Los Ángeles, Nueva York, Seúl y Tokio concentran una gran cantidad de publicaciones científicas y patentes, mientras que Buenos Aires, Nueva Delhi, Estambul, Ciudad de México, Moscú, São Paulo y Teherán, por ejemplo, forman parte de núcleos de innovación que concentran una producción respetable, pero considerablemente inferior, de artículos científicos y muy pocas patentes. Otros centros urbanos altamente poblados solo poseen una densidad de innovación suficiente en algunos campos científicos o tecnológicos especializados. Es el caso de los conglomerados sectoriales de Bangkok, El Cairo, Chongqing y Calcuta, entre otros. A pesar de concentrar mucha de la producción nacional de innovación, varias áreas metropolitanas muy pobladas —como Yakarta, Karachi o Manila— no generan la suficiente innovación para considerarse núcleos de innovación o conglomerados sectoriales.

En cambio, otras áreas urbanas menos densas en muchos países innovadores de ingresos altos pueden tener una alta densidad de innovación, especialmente en algunos ámbitos especializados. Dichos conglomerados sectoriales —como Ítaca en Estados Unidos, Stavanger en Noruega o Berna en Suiza— son altamente innovadores gracias a la marcada incidencia que tienen en la innovación las instituciones académicas, los sectores industriales y, a veces, empresas claves locales. En sus ámbitos especializados, estos conglomerados obtienen mejores resultados que otras metrópolis con mayor densidad urbana y de innovación en general.

## Cuanto más valor, más concentración

Gráfico 2.2 Evolución de las principales citas de patentes (izquierda) y publicaciones científicas (derecha) en las principales economías y regiones



Fuente: OMPI, a partir de datos de PATSTAT, el PCT y *Web of Science* (véanse las notas técnicas).  
Notas: Las cifras de patentamiento se basan en las familias internacionales de patentes.

## Proporción de las regiones subnacionales más innovadoras en los países

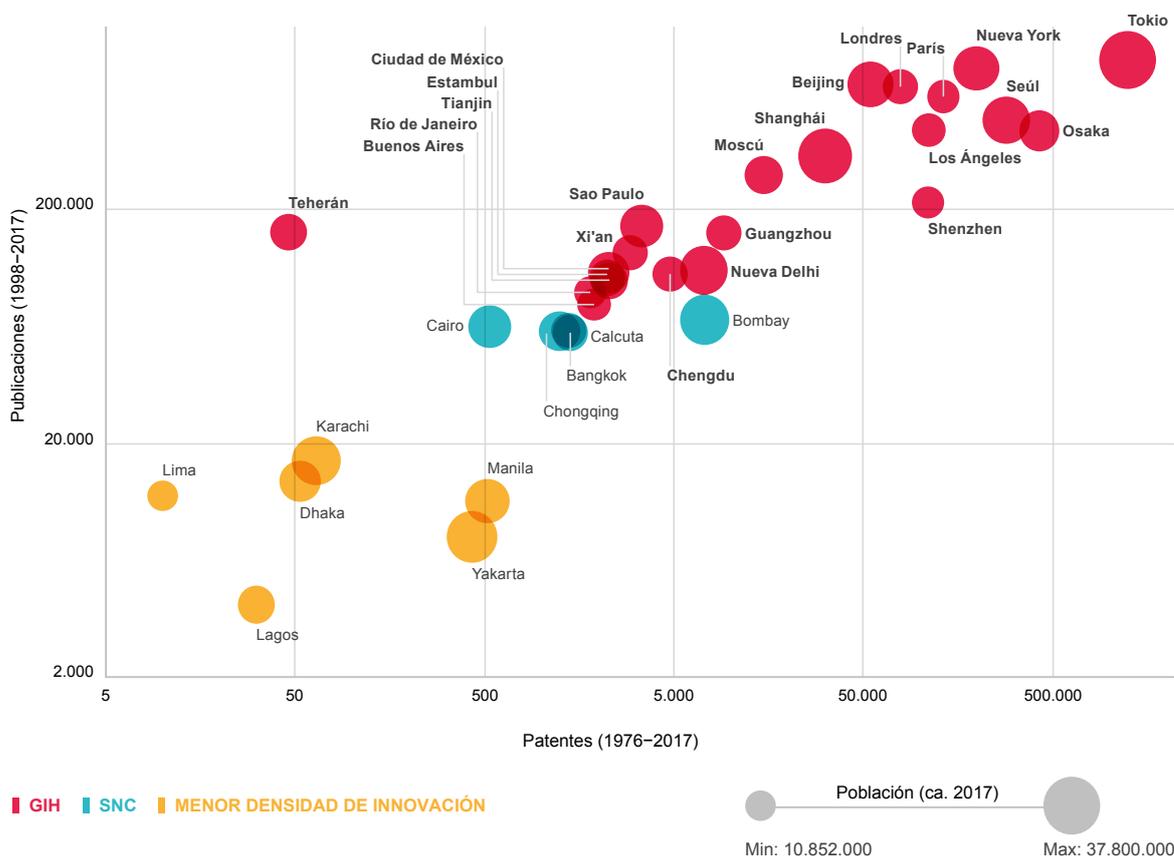
Cuadro 2.2 Las tres áreas administrativas principales en concentración de patentes y publicaciones científicas, por período, en países seleccionados

País (nivel)	Patentes			Publicaciones			
	1991-95	%	2011-15	2001-05	%	2011-15	
China (provincias)	Beijing Guangdong Shanghái	42,3	Guangdong Beijing Jiangsu	Beijing Shanghái Jiangsu	45,5	Beijing Shanghái Jiangsu	39,4
Alemania (estados federados)	Baden-Wurtemberg Baviera Renania del Norte-Westfalia	63,8	Baviera Baden-Wurtemberg Renania del Norte-Westfalia	Baviera Renania del Norte-Westfalia Baden-Wurtemberg	49,4	Renania del Norte-Westfalia Baden-Wurtemberg Baviera	50,0
Francia (regiones)	Isla de Francia Auvernia-Ródano-Alpes Gran Este	64,1	Isla de Francia Auvernia-Ródano-Alpes Occitania	Isla de Francia Auvernia-Ródano-Alpes Occitania	63,1	Isla de Francia Auvernia-Ródano-Alpes Occitania	62,7
Reino Unido (condados)	Gran Londres Hertfordshire Cambridgeshire	17,9	Gran Londres Cambridgeshire Oxfordshire	Gran Londres Cambridgeshire Oxfordshire	35,8	Gran Londres Oxfordshire Cambridgeshire	38,7
India (estados)	Maharashtra Karnataka Telangana	51,6	Karnataka Maharashtra Telangana	Maharashtra Tamil Nadu NCT of Delhi	36,4	Tamil Nadu Maharashtra NCT of Delhi	36,1
Japón (prefecturas)	Tokio Kanagawa Osaka	51,5	Tokio Kanagawa Osaka	Tokio Osaka Ibaraki	35,8	Tokio Osaka Aichi	35,4
Estados Unidos (estados)	California Nueva York Texas	30,8	California Nueva York Texas	California Nueva York Massachusetts	28,2	California Massachusetts Nueva York	28,7

Fuente: OMPI, a partir de datos de PATSTAT, el PCT y *Web of Science*.  
Notas: Las publicaciones científicas y de patentes se asignaron a las regiones de acuerdo con las direcciones geocodificadas de los inventores y de las instituciones de los autores. Véanse el recuadro 2.1. y las notas técnicas. Las cifras de patentamiento se basan en las familias internacionales de patentes.

### La densidad de población no garantiza una alta densidad de innovación

Gráfico 2.3 Patentes y artículos científicos en las 35 ciudades más grandes



Fuente: OMPI, a partir de datos de PATSTAT, el PCT y *Web of Science* (véanse los recuadros 2.1 y 2.2) y de las principales ciudades, extraídos de *The City Mayors Foundation*. Según las 35 poblaciones metropolitanas más grandes de la lista de las grandes ciudades del mundo según *The City Mayors Foundation*, [www.citymayors.com/statistics/largest-cities-population-125.html](http://www.citymayors.com/statistics/largest-cities-population-125.html) (fecha de consulta: septiembre de 2019).  
 Notas: El tamaño de la burbuja indica la población del área metropolitana (a 2017). Eje en escala logarítmica. Debido a los bajos niveles de publicación científica o patentamiento, se omite Kinshasa y Shijiazhuang del área del gráfico. Las cifras de patentamiento se basan en las familias internacionales de patentes.

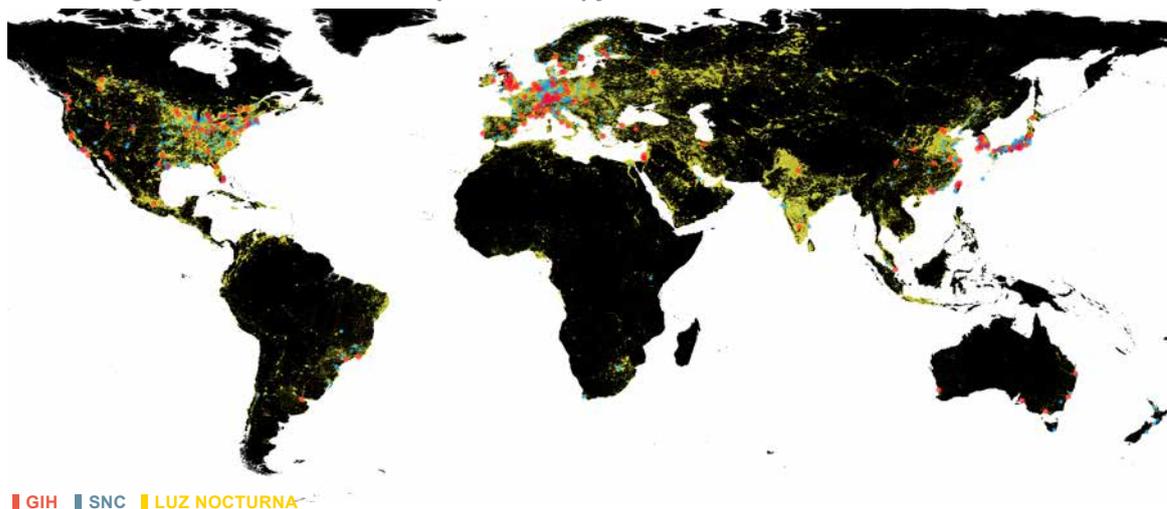
Los gráficos 2.4 y 2.5 amplían a escala mundial esta comparación analizando la distribución de la luz nocturna en todo el planeta como indicador de áreas urbanas densas.<sup>9</sup> Como se muestra en el gráfico 2.4, la luz nocturna no se distribuye por igual en todo el mundo ni en los países. La innovación sigue un patrón similar de aglomeración, pero se ve aún más sesgada geográficamente. Estas aglomeraciones o núcleos —que tienen, por definición, mayor densidad de conocimientos científicos o generación de patentes— suelen coincidir con las áreas más iluminadas del mundo en términos de luz nocturna. Los conglomerados sectoriales también coinciden con los lugares iluminados, aunque su carácter especializado implica que las zonas urbanas pueden ser menos densas.

Europa (sobre todo Occidental) posee la distribución territorial más homogénea de luz nocturna y, como cabría esperar, concentra más de un tercio de todos los núcleos de innovación y conglomerados sectoriales especializados del mundo. Pese a ello, aún pueden encontrarse áreas iluminadas sin la correspondiente aglomeración de innovación. En Europa, Alemania, el Reino Unido y Francia son líderes de aglomeraciones de innovación, pero también estos países tienen varias áreas urbanas densas sin la correspondiente densidad de publicación científica y patentamiento.

América del Norte posee más de un cuarto de los núcleos de innovación y conglomerados sectoriales, principalmente en áreas urbanas densas a lo largo de

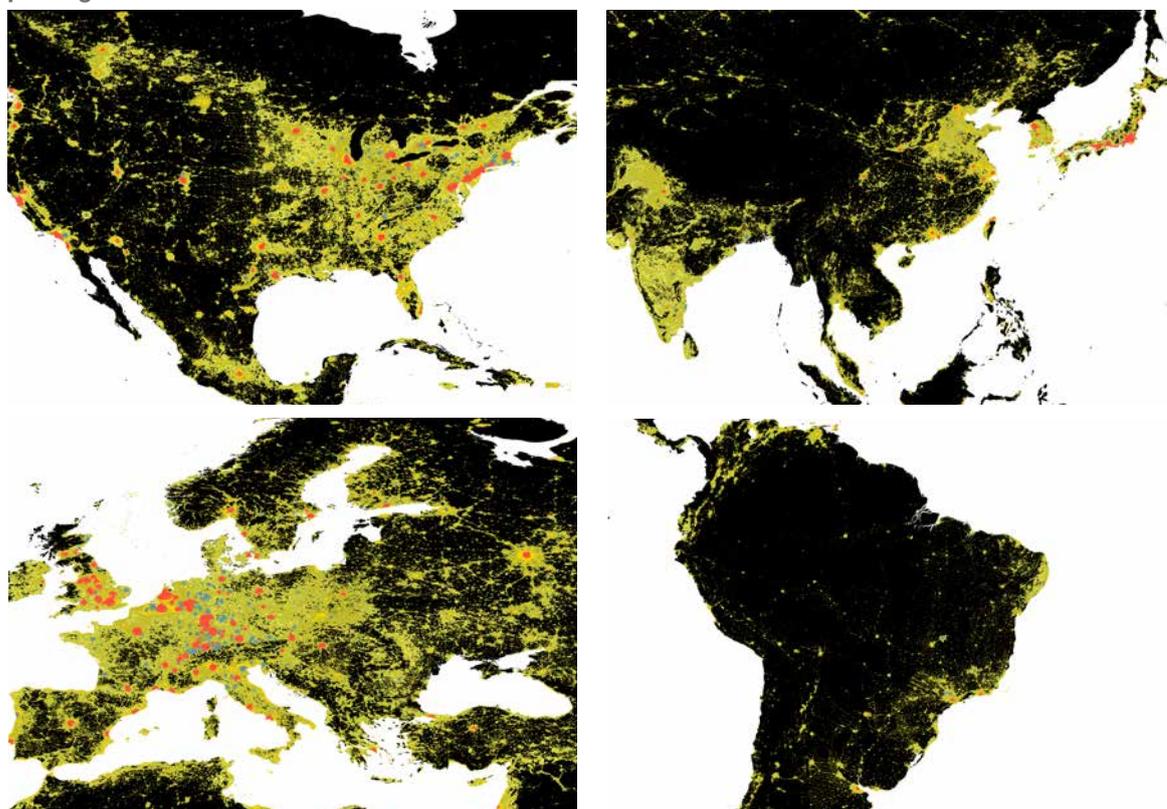
### La densidad urbana y de innovación coinciden en gran medida

Gráfico 2.4 Distribución mundial de la innovación (GIH = núcleos mundiales de innovación; SNC = conglomerados sectoriales especializados) y luz nocturna de acuerdo con el DMSP



### En América del Norte, Europa Occidental y Asia oriental se encuentra la mayoría de los centros de innovación

Gráfico 2.5 Núcleos de innovación de escala mundial y conglomerados sectoriales especializados, por región



Fuente: OMPI, a partir de datos de PATSTAT, el PCT y *Web of Science* (véanse los recuadros 2.1 y 2.2). Los datos sobre la luz nocturna se extraen del Centro Nacional de Datos Geofísicos del Organismo Nacional para el Estudio de los Océanos y la Atmósfera (NOAA) de los Estados Unidos.  
Nota: DMSP = Programa de satélites meteorológicos para fines de defensa.

las costas este y oeste. La mayor parte de las principales ciudades del centro y el sur del país también poseen aglomeraciones de innovación, pero muchas áreas urbanas densas —especialmente en los estados del medio oeste y sur de los Estados Unidos— no tienen suficiente innovación para albergar núcleos de innovación de escala mundial o conglomerados sectoriales.

Asia posee algo más de un cuarto de todos los núcleos de innovación y conglomerados sectoriales. El Japón, China, la República de Corea y la India albergan la mayoría de las aglomeraciones de innovación de Asia. En el Japón, y en cierta medida en la República de Corea, se da una correspondencia clara entre luz nocturna y aglomeración de innovación. A pesar de contar con numerosas aglomeraciones de innovación, China y la India tienen muchas áreas urbanas densas sin la correspondiente densidad de innovación.

Los grandes territorios continentales de Oceanía, América Latina y África poseen amplias zonas sin áreas urbanas densas. En Oceanía, Australia posee una alta correspondencia de áreas con densidad urbana e innovación, ya que no tiene prácticamente ninguna zona iluminada que no tenga su correspondiente núcleo de innovación o conglomerado sectorial. Por el contrario, África y América Latina poseen las áreas urbanas más densas sin densidad de innovación.

Como se muestra en el cuadro 2.3, las actividades inventivas y científicas están muy sesgadas en todos los niveles de densidad de innovación. Los 174 núcleos de innovación representan las áreas con mayor densidad de innovación en el mundo; sin embargo, unos pocos países —sobre todo países de ingresos altos y medianos— producen sistemáticamente la mayor parte de los conocimientos científicos y tecnológicos creados dentro de los núcleos de innovación de escala mundial.

Solo 30 núcleos de innovación de 16 países son responsables de casi el 70% de las patentes y cerca del 50% de los artículos científicos.

Una parte muy pequeña de la actividad científica e inventiva tiene lugar fuera de los núcleos de innovación y conglomerados sectoriales, y una actividad aún menor se da fuera de los pocos países que los albergan. De hecho, hay más de 160 países que no tienen ningún núcleo de innovación o conglomerado sectorial. Incluso en estas áreas con menor densidad de innovación, la mayoría del conocimiento se genera en solo unas pocas áreas urbanas densas. Solo 30 aglomeraciones

## Unos pocos lugares concentran la mayor parte de las actividades científicas e inventivas

**Cuadro 2.3 Concentración de la actividad de patentamiento y publicación entre los núcleos mundiales de innovación y entre los países con menor densidad de innovación, 1998–2017**

30 núcleos principales (proporción de todos los núcleos del mundo)		
Núcleos (%)	30	(17,2%)
Países (%)	16	(47,1%)
Patentes (%)	3.234.850	(69,2%)
Artículos científicos (%)	10.987.971	(47,8%)
30 aglomeraciones principales en países con poca densidad de innovación		
Aglomeraciones (%)	30	(5,0%)
Países (%)	24	(14,4%)
Patentes (%)	11.491	(64,1%)
Artículos científicos (%)	484.689	(61,0%)

Fuente: OMPI, a partir de datos de PATSTAT, el PCT y *Web of Science* (véanse los recuadros 2.1 y 2.2).

Notas: Solo se incluyen los datos de 1998 a 2017. Los 30 núcleos de innovación y aglomeraciones principales se calculan separadamente en función de los datos de patentes y publicaciones. Las 30 aglomeraciones principales en países sin densidad de innovación se basan en la misma metodología descrita respecto de los centros mundiales de innovación en el recuadro 2.2. Las cifras de patentamiento se basan en las familias internacionales de patentes.

ubicadas en 24 países producen aproximadamente el 64% de las patentes y el 61% de los artículos científicos en estos países con baja densidad de innovación (cuadro 2.3). Pese a esta concentración en pocas aglomeraciones, la brecha con los principales núcleos mundiales de innovación es enorme. El volumen de patentamiento y publicación científica en las 30 principales aglomeraciones de los países con menor densidad de innovación es solo el 0,4% y el 4%, respectivamente, del de los 30 núcleos de innovación líderes mundiales.

Aun así, incluso en las áreas con alta densidad de innovación surgen importantes diferencias nacionales. En el cuadro 2.4 se examinan los tres principales núcleos de innovación y conglomerados sectoriales de determinados países en dos períodos diferentes y el porcentaje de publicaciones científicas y patentes que acumulan en esos países. En primer lugar, la lista de las tres principales áreas con densidad de innovación apenas varía según el período o la publicación científica y la actividad

## La innovación persiste en concentrarse en unos pocos núcleos

**Cuadro 2.4 Concentración de los tres núcleos de innovación (patentamiento y publicación) de escala mundial de determinados países**

País	Patentes		Publicaciones					
	1991-95	%	2011-15	%				
China	Beijing Shanghái Shenzhen-Hong Kong	36,5	Shenzhen-Hong Kong Beijing Shanghái	52,2	Beijing Shanghái Nanjing	43,9	Beijing Shanghái Nanjing	35,8
Alemania	Fráncfort Colonia-Dusseldorf Stuttgart	37,4	Fráncfort Stuttgart Colonia-Dusseldorf	29,4	Fráncfort Colonia Berlín	34,4	Fráncfort Colonia Berlín	34,2
Francia	París Lyon Grenoble	47,1	París Grenoble Lyon	42,8	París Lyon Grenoble	51,0	París Lyon Toulouse	49,4
Reino Unido	Londres Manchester Cambridge	30,0	Londres Cambridge Oxford	35,0	Londres Cambridge Oxford	39,8	Londres Oxford Cambridge	41,8
India	Bangalore Mumbai Delhi	41,9	Bangalore Hyderabad Delhi	46,2	Delhi Mumbai Bangalore	27,7	Delhi Mumbai Calcuta	24,6
Japón	Tokio Osaka Nagoya	80,5	Tokio Osaka Nagoya	83,4	Tokio Osaka Nagoya	64,3	Tokio Osaka Nagoya	64,8
Estados Unidos	Ciudad de Nueva York San José-San Francisco Boston	19,4	San José-San Francisco Ciudad de Nueva York Boston	23,4	Nueva York DC-Baltimore Boston	21,2	Boston Nueva York DC-Baltimore	21,4

Fuente: OMPI, a partir de datos de PATSTAT, el PCT y *Web of Science* (véanse los recuadros 2.1 y 2.2).  
Notas: Las cifras de patentamiento se basan en las familias internacionales de patentes.

de patentamiento, lo que muestra la estabilidad del fenómeno de concentración. En segundo lugar, en todos los países analizados, la proporción que acumulan las tres áreas principales es bastante alta, pues se sitúa entre un 20% y más del 80%. Además, cabe señalar que, en la mayoría de los países, el porcentaje de los tres núcleos principales de patentamiento se mantiene bastante estable o aumenta, lo que indica que dentro de los países la actividad inventiva no se expande mucho geográficamente y en algunos casos se sigue concentrando. Alemania y, en menor medida, Francia son excepciones donde los tres principales núcleos de patentamiento concentran una menor actividad inventiva que en las dos décadas anteriores.

En general, la concentración de la publicación científica también se ha mantenido relativamente estable y a niveles altos. De las economías seleccionadas, solo China y, en menor medida, la India muestran cierta tendencia a la dispersión, pero sus tres núcleos de innovación principales aún representan al menos un cuarto y un tercio de toda la publicación científica nacional respectivamente. Si se compara la publicación científica y la actividad de patentamiento (cuadro 2.4), es interesante que en algunos países la publicación científica se concentra más que la actividad de patentamiento, lo cual no es la regla general. Así ocurre en Reino Unido y, en menor medida, Francia. Ambos países poseen capitales que

son centros mundiales de producción científica y líderes en sus respectivos países.

## 2.2 Redes mundiales de colaboración y contratación

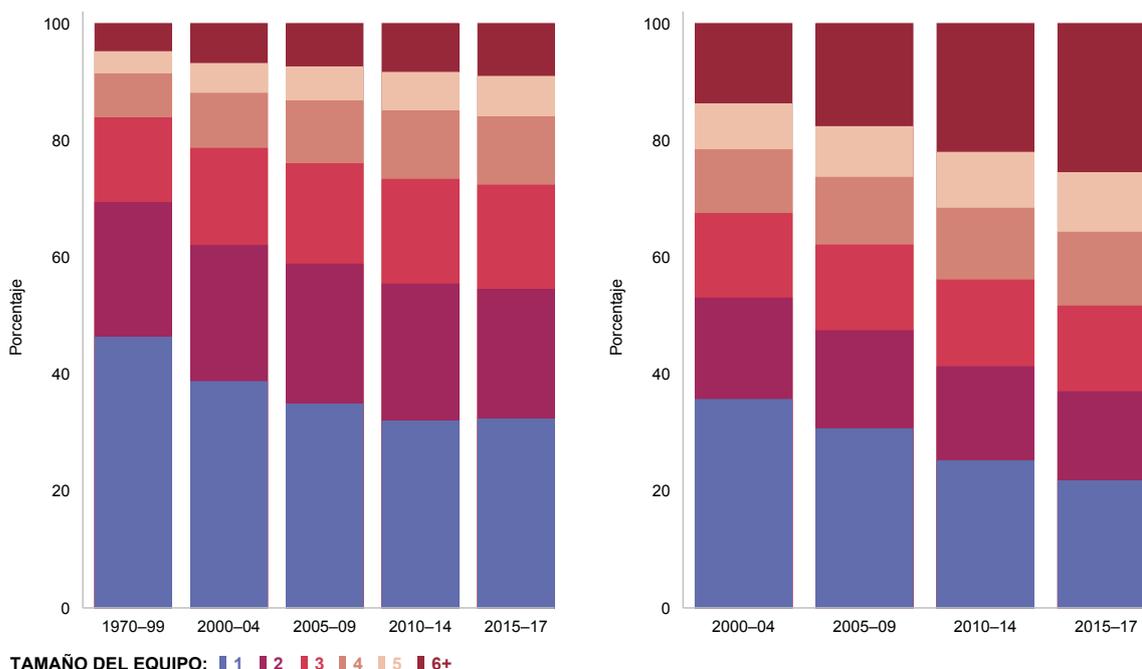
### ¿En qué medida está globalizada la colaboración?

La producción de conocimiento científico y tecnológico es cada vez más colaborativa. Ya en 1998, la mayor parte de los artículos científicos se elaboraban en equipo. En 2017, los científicos que trabajaban en solitario eran la mitad de los que eran 20 años antes. El tamaño de los equipos también está creciendo. En 2017, un artículo científico medio contaba casi con dos investigadores más en promedio que 20 años antes (véase el cuadro 2.6). Además, el tamaño medio de los equipos ha aumentado en todos los ámbitos, con lo que ahora lo normal es contar con equipos de seis científicos o más para producir conocimientos científicos.

Los equipos que colaboran para realizar innovaciones tecnológicas (patentes) son más pequeños, pero también muestran signos de crecimiento, ya que en promedio el número de miembros se ha duplicado

## Aumento de la innovación colaborativa

Cuadro 2.6 Tamaño de los equipos de inventores (izquierda) y científicos (derecha), por período



Fuente: OMPI, a partir de datos de PATSTAT, el PCT y *Web of Science* (véase el recuadro 2.1).  
Notas: Las cifras de patentamiento se basan en las familias internacionales de patentes.

desde inicios de la década de 1970. A mediados de la década de 2010, dos tercios de las invenciones eran esfuerzos colaborativos. El tamaño de todos los equipos de inventores crece en detrimento de las patentes con un solo inventor.

Los equipos también son cada vez más internacionales. Como se observó en el capítulo 1, son muchos los incentivos que llevan a instituciones académicas y empresas a cruzar las fronteras en busca de asociados de innovación. La comunidad científica tiene una larga tradición en materia de colaboración internacional. Las empresas multinacionales también buscan una mayor eficiencia gracias a la división internacional de su I+D y la colaboración internacional. Por ejemplo, pueden colaborar con equipos de I+D de otros países para: i) adaptar las tecnologías a las distintas necesidades de mercado; ii) acceder a una reserva de talento especial; o iii) simplemente reducir los costos de sus investigadores.<sup>10</sup>

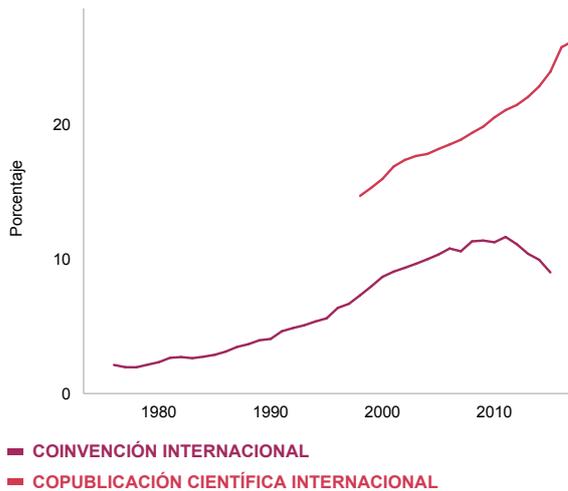
La colaboración en materia de producción científica (publicaciones), en comparación con la tecnológica, implica trabajar cada vez más con equipos de

organizaciones de al menos dos países (gráfico 2.7). En solo dos décadas, el porcentaje de colaboraciones científicas internacionales ha aumentado prácticamente un 50%, del 17% al 25% de artículos científicos publicados. La coinvencción internacional es un fenómeno mucho menos frecuente. No obstante, a pesar de su inferior porcentaje, la producción de patentes colaborativas internacionales registró un crecimiento impresionante hasta la segunda mitad de la década de 2000, ya que no solo se duplicó, sino que pasó de menos del 5% a casi el 11%. Desde 2010, esa proporción ha caído ligeramente.<sup>11</sup>

El hecho de que los equipos internacionales tengan un porcentaje más alto de publicación de artículos científicos que de patentes indica una vez más que la producción científica está más internacionalizada que la producción tecnológica. En el gráfico 2.8 se desglosan los datos de equipos científicos e inventivos internacionales en los principales países innovadores del mundo. Con la excepción del Japón y, en menor medida, la República de Corea, la mayoría de los países líderes en presentación de solicitudes tienen un alto porcentaje de coinvencciones internacionales. Estados

## La colaboración para la innovación es cada vez más internacional

Gráfico 2.7 Coinvención internacional y copublicación internacional, en %



Fuente: OMPI, a partir de datos de PATSTAT, el PCT y *Web of Science* (véase el recuadro 2.1).

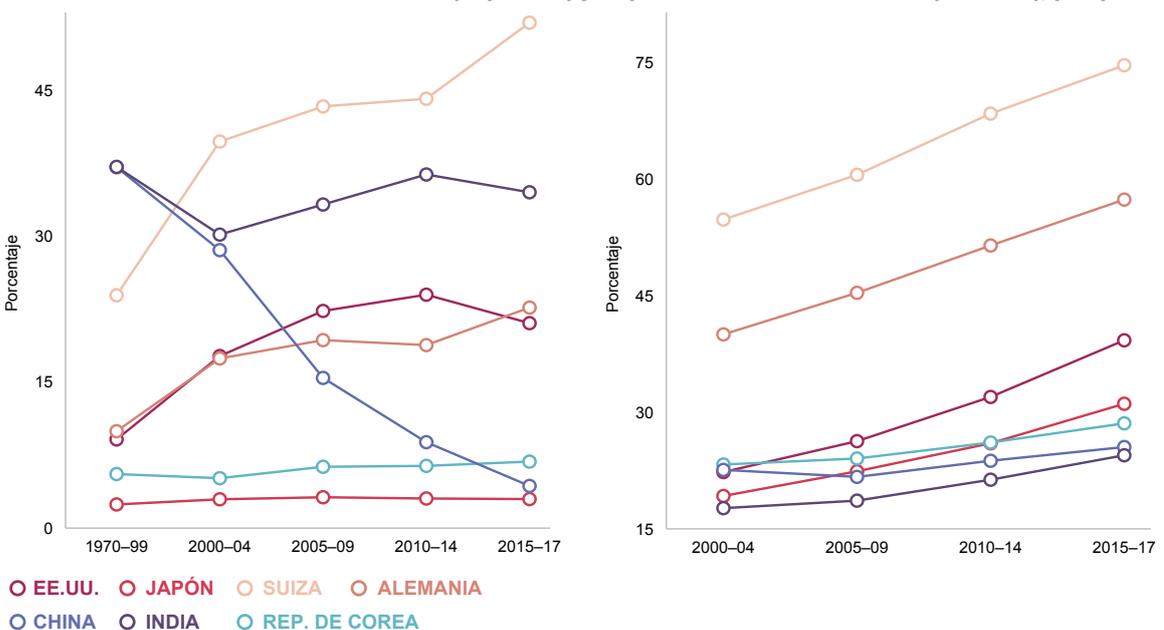
Notas: Coinvención internacional = porcentaje de patentes con más de un inventor ubicado en al menos dos países; copublicación científica internacional = porcentaje de artículos científicos con autores afiliados a instituciones ubicadas en al menos dos países. Las cifras de patentamiento se basan en las familias internacionales de patentes.

Estados Unidos y los países de Europa Occidental muestran en general una tendencia de crecimiento. Las economías pequeñas que poseen áreas con conexiones internacionales y una alta densidad urbana y de innovación (como Suiza) suelen participar en colaboraciones internacionales. La India también tiene un alto nivel de coinvención internacional. En las principales economías de Asia Oriental, las cosas son distintas. Antes de la década de 2000, el porcentaje de coinvenciones internacionales en China era extraordinariamente alto, pero el volumen era menor. Desde entonces, con el aumento del volumen de patentamiento de China, dicho porcentaje cayó notablemente a niveles muy bajos, comparables a los del Japón y la República de Corea.

Las tendencias de copublicación internacional muestran un panorama muy distinto. Todos los países líderes en edición de publicaciones científicas poseen un mayor porcentaje de copublicación internacional que de coinvención internacional, salvo China. Además, el porcentaje ha aumentado constantemente durante ese período. Sin embargo, las cifras muestran que los países de Asia Oriental son menos abiertos internacionalmente que Estados Unidos y Europa Occidental también respecto de la publicación científica.

## Las economías grandes están muy internacionalizadas

Gráfico 2.8 Coinvención internacional (izquierda) y copublicación internacional (derecha), por país



Fuente: OMPI, a partir de datos de PATSTAT, el PCT y *Web of Science* (véase el recuadro 2.1).

Notas: Coinvención internacional = porcentaje de patentes con más de un inventor ubicado en al menos dos países; copublicación científica internacional = porcentaje de artículos científicos con autores afiliados a instituciones ubicadas en al menos dos países. Las cifras de patentamiento se basan en las familias internacionales de patentes.

La colaboración internacional también se concentra en unos pocos países líderes, aunque está disminuyendo a medida que nuevos interesados entran en la red (gráfico 2.9). La copublicación científica en Estados Unidos, Europa Occidental y el Japón representaba el 54% de todas las coautorías internacionales entre 1998 y 2002, y el 42% entre 2011 y 2015. La coinvencción entre estas tres regiones era el 69% de toda la coinvencción internacional entre 1998 y 2002, y el 49% entre 2011 y 2015.

Asimismo, estas tres economías participan en la mayoría de las colaboraciones que se realizan con otras (gráfico 2.9). Si bien la colaboración dentro de Europa es cada vez más importante, los Estados Unidos suponen el principal socio para la mayoría de los países europeos. El Canadá y los Estados Unidos —sin duda debido a su proximidad geográfica y cultural— poseen uno de los vínculos más fuertes en materia de redes de colaboración internacional en todos los períodos. El resto de los vínculos del Canadá son principalmente con Europa Occidental, con pocas conexiones en otras regiones. Los nuevos participantes de esas redes —como, por ejemplo, China, la India, Australia o el Brasil— también han aumentado sus vínculos con estas tres economías, normalmente los Estados Unidos y unos pocos países europeos, como Reino Unido y Alemania.

La colaboración entre los países y las economías fuera del triángulo Estados Unidos-Europa Occidental-Japón es mucho más dispersa. Las coinvencciones internacionales en las que no participaban esas economías centrales representaban solo el 2% de todas las coinvencciones internacionales entre 1998 y 2002, y el 7% entre 2011 y 2015. La subred de copublicación científica es más extensa, ya que empezó en el 5% entre 1998 y 2002 y alcanzó el 13% de todos los vínculos internacionales entre 2011 y 2015. Algunas economías grandes aparte de las del triángulo líder (como, por ejemplo, China, la India, Singapur y, en menor medida, Argentina, Australia, el Brasil, México y Sudáfrica) han incrementado su participación en dicha subred, aunque sobre todo en el ámbito de la copublicación. Con todo, sus conexiones siguen siendo principalmente con alguna de las del triángulo líder—en particular Estados Unidos y Europa— y no otras.

En general, las tendencias de colaboración indican que la globalización de la actividad inventiva afecta mayoritariamente a los Estados Unidos y Europa Occidental, junto con China y la India.

## Las empresas multinacionales buscan innovación en nuevos ámbitos

Desde finales de la década de 1990, como se indica en el capítulo 1, las empresas multinacionales subcontratan cada vez más las actividades de I+D a economías en desarrollo de ingresos medianos, como China, la India y países de Europa Oriental.<sup>12</sup> Si bien al principio adaptaban sus tecnologías a las necesidades de mercado locales, fueron adoptando poco a poco una estrategia de I+D de vanguardia (comparable a la realizada en las economías de ingresos altos) y desarrollando nuevos productos para el mercado mundial.<sup>13</sup> El dinamismo de ciertas economías de ingresos medianos fue un incentivo muy importante para la inversión extranjera directa en I+D, especialmente en la India y China.

La I+D saliente de los Estados Unidos se ha multiplicado por cinco en los últimos 25 años, y la mayor parte de esa inversión se ha destinado a Alemania, el Reino Unido, el Japón, el Canadá o Francia.<sup>14</sup> La tendencia de patentamiento de las empresas estadounidenses con inventores extranjeros ha seguido un patrón similar (véase el gráfico 2.10). En las décadas de 1970 y 1980, solo en el 9% de las solicitudes de patente presentadas por empresas estadounidenses figuraban inventores extranjeros; en la década de 2010, el porcentaje aumentó al 38%. La subcontratación de tecnología del Canadá, el Japón y Europa Occidental siguió aumentando hasta inicios de la década de 2000, antes de estancarse. Desde entonces, el aumento de la subcontratación de innovación por las empresas estadounidenses se ha debido principalmente a otros lugares, sobre todo China, la India y, en menor medida, Israel. Por ello, una parte importante de la estrategia de diversificación del conocimiento de los Estados Unidos ha supuesto la expansión a países sin economías de altos ingresos.

La internacionalización de la I+D no solo se ha dado en las empresas estadounidenses, aunque ninguna otra economía grande se ha mostrado tan abierta a esa colaboración (gráfico 2.10). Las grandes economías de Europa Occidental —como Alemania, Francia y el Reino Unido— son las que más se le acercaron, mientras que las empresas de las principales economías de Asia Oriental —el Japón, la República de Corea y China— están mucho menos internacionalizadas.

Hay una clara tendencia que indica que las empresas de todo el mundo están aumentando y ampliando su

## Concentración y expansión de las colaboraciones internacionales

Gráfico 2.9 Coinvención internacional (izquierda) y copublicación internacional (derecha), por pares de países, 1998–2002 y 2011–2015

### Coinvención internacional, por pares de países, 1998–2002



### Coinvención internacional por pares de países, 2011–2015



— 2.000 ■ 5.000

Fuente: OMPI, a partir de datos de PATSTAT, el PCT y *Web of Science* (véase el recuadro 2.1).

Notas: Coinvención internacional = porcentaje de patentes con más de un inventor ubicado en al menos dos países; copublicación científica internacional = porcentaje de artículos científicos con autores afiliados instituciones ubicadas en al menos dos países. Solo se indica el 10% más alto de conexiones internacionales de cada período reseñado. Las burbujas señalan el porcentaje de conexiones únicamente de determinados países y regiones. Las cifras de patentamiento se basan en las familias internacionales de patentes.

**Copublicación internacional por pares de países, 1998–2002**



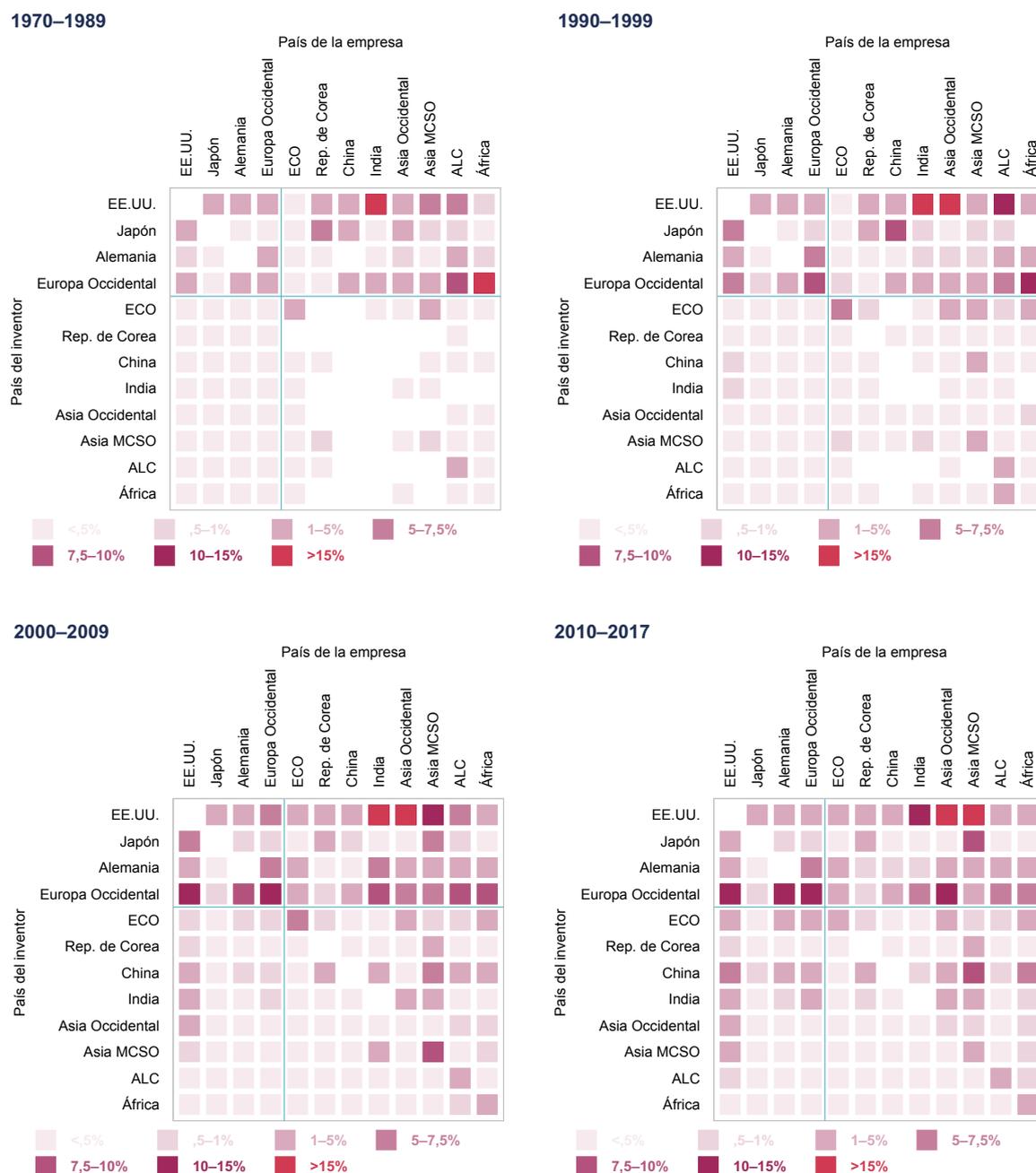
**Copublicación internacional por pares de países, 2011–2015**



— 10.000 ■ 40.000

## Un grupo selecto de receptores de subcontratación en materia de innovación

Gráfico 2.10 Actividad de patentamiento de empresas con inventores en un país distinto (%), regiones seleccionadas



Fuente: OMPI, a partir de datos de PATSTAT y el PCT (véanse las notas técnicas).  
 Notas: ECO = Europa Central y Oriental; ALC = América Latina y el Caribe; Asia MCSO = Asia Meridional (excepto la India), Central y Sudoriental; Estas regiones se basan principalmente en las regiones geográficas de la metodología de la División Estadística de las Naciones Unidas (unstats.un.org, fecha de consulta: marzo de 2019). La única diferencia es que en el grupo de Europa Central y Oriental se incluyen todos los países en las categorías de Europa Septentrional y Meridional de la División Estadística de las Naciones Unidas que no se incluyen en la categoría de Europa Occidental, y que en la categoría de Asia Meridional, Central y Sudoriental se incluye a Mongolia. En Europa Occidental no se incluye Alemania. Europa Occidental incluye las 15 economías de los países que eran miembros de la UE antes del 1 de mayo de 2004, junto con Andorra, Islandia, Liechtenstein, Malta, Mónaco, San Marino y Suiza. Las cifras de patentamiento se basan en las familias internacionales de patentes

actividad de patentamiento con inventores extranjeros. Sin embargo, como ya se ha dicho, la mayor parte de la actividad internacional de patentamiento sigue dándose entre empresas e inventores de economías de altos ingresos, en particular de los Estados Unidos, el Japón y Europa Occidental. En estas economías, las empresas japonesas son las menos orientadas al extranjero, mientras que las empresas estadounidenses confían notablemente en los inventores japoneses.

Desde las últimas dos décadas se justifica la entrada de China y la República de Corea en este grupo selecto. Sin duda poseen el volumen de patentamiento de empresas y de inventores que participan en la actividad de patentamiento de empresas extranjeras. Las empresas de la República de Corea dependen más de los inventores japoneses y estadounidenses que al revés. En la década de 1990, las empresas chinas dependían más de los inventores japoneses, pero desde la década de 2000 han adoptado un perfil cada vez más nacional.

Actualmente las empresas chinas son solo un poco más abiertas para los inventores internacionales que las japonesas.

No obstante, pese al aumento de la subcontratación observado en las últimas décadas de empresas multinacionales a países con economías en desarrollo de ingresos medianos, las empresas de estos países aún tienen más probabilidades de aprovechar la innovación de las economías de altos ingresos que al contrario. Las empresas de la India, Asia, Europa Central y Oriental, América Latina y África dependen en gran medida del ingenio de los inventores de Estados Unidos, Europa Occidental, China y, en menor medida, el Japón y la República de Corea, que son los que crean las tecnologías patentables. Con todo, cabe recordar que las empresas de estas economías poseen bajos niveles de patentamiento en comparación con las de Estados Unidos, Europa Occidental, el Japón, China y la República de Corea. Por último, pero no menos importante, cabe señalar que la actividad de patentamiento directo es muy inferior entre las empresas y los inventores de países sin economías de altos ingresos.

Existe cierto grado de colaboración regional. Sin embargo, esta sigue el mismo patrón descrito anteriormente. Las empresas mexicanas contratan más inventores de los Estados Unidos y el Canadá que a la inversa. Lo mismo ocurre con Alemania, Francia y el Reino Unido en Europa, en particular respecto de Europa Central y Oriental. Las empresas de toda Asia

buscan más a los inventores del Japón, la República de Corea, China, y, en cierta medida, la India, que a la inversa. De una manera menos destacada, los inventores del Brasil y Sudáfrica se presentan como fuentes regionales para las empresas de América Latina y África. Aun así, las empresas de países sin economías de altos ingresos de Asia, América Latina y África interactúan principalmente con inventores fuera de sus respectivos continentes, normalmente de los Estados Unidos y Europa Occidental.

## 2.3 Innovación local y redes mundiales de centros de innovación

### La globalización de las aglomeraciones

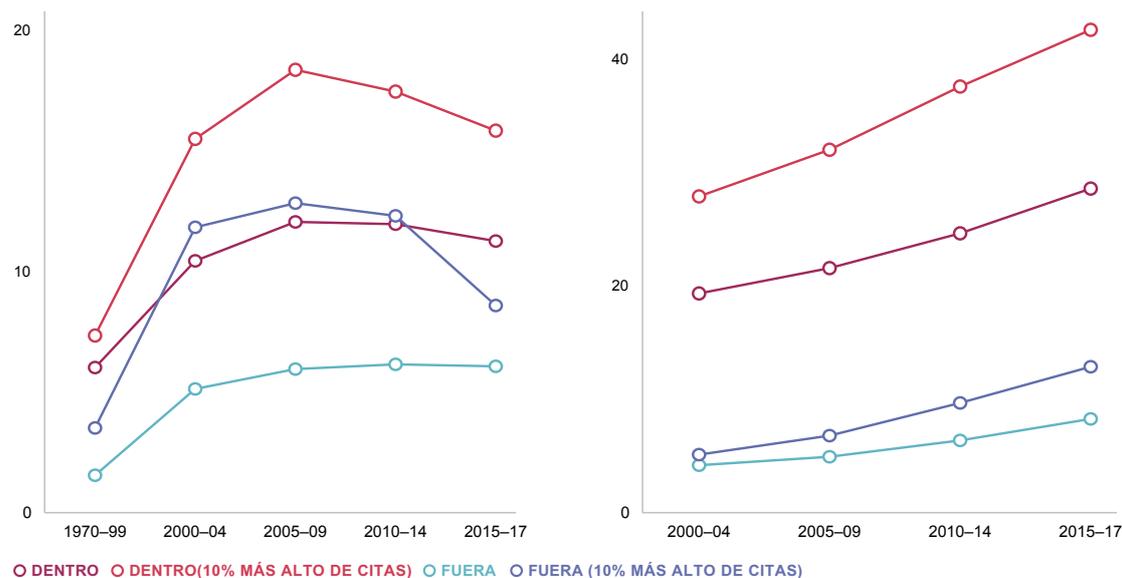
No solo los núcleos de innovación y los conglomerados sectoriales concentran una mayor producción de publicaciones científicas y patentes, sino que además colaboran más internacionalmente (gráfico 2.11). La diferencia es aún mayor en lo que se respecta a las patentes y los artículos científicos más citados. En las últimas dos décadas, la colaboración científica a escala internacional pasó del 19% al 29% de todos los artículos científicos elaborados dentro de áreas con alta densidad de innovación, y los más citados dentro de dicha colaboración internacional pasaron del 28% al 43%.

La misma brecha se puede observar en la coinventión dentro y fuera de núcleos de innovación y conglomerados sectoriales. Durante la segunda mitad de la década de 2010, en el 11% de las invenciones en núcleos de innovación y conglomerados sectoriales figuraban socios internacionales (y casi en el 16% de las patentes más citadas), mientras que solo en el 6% de las patentes generadas fuera de estos figuraba un coinventor internacional. Con todo, no hay indicios de que la brecha esté aumentando. De hecho, las coinventiones internacionales dentro y fuera de esas aglomeraciones siguen una tendencia similar de estancamiento y, hasta cierto punto, de declive, que comenzó en la segunda mitad de la década de 2000 y probablemente se debe a la creciente desaceleración de la globalización (más abajo).

El gráfico 2.12 muestra varios patrones interesantes. Como se examinó en la sección 2.2., el porcentaje de producción científica e inventiva en estas aglomeraciones con densidad de innovación no implica

## La innovación desarrollada dentro de los núcleos tiene más probabilidad de ser internacional

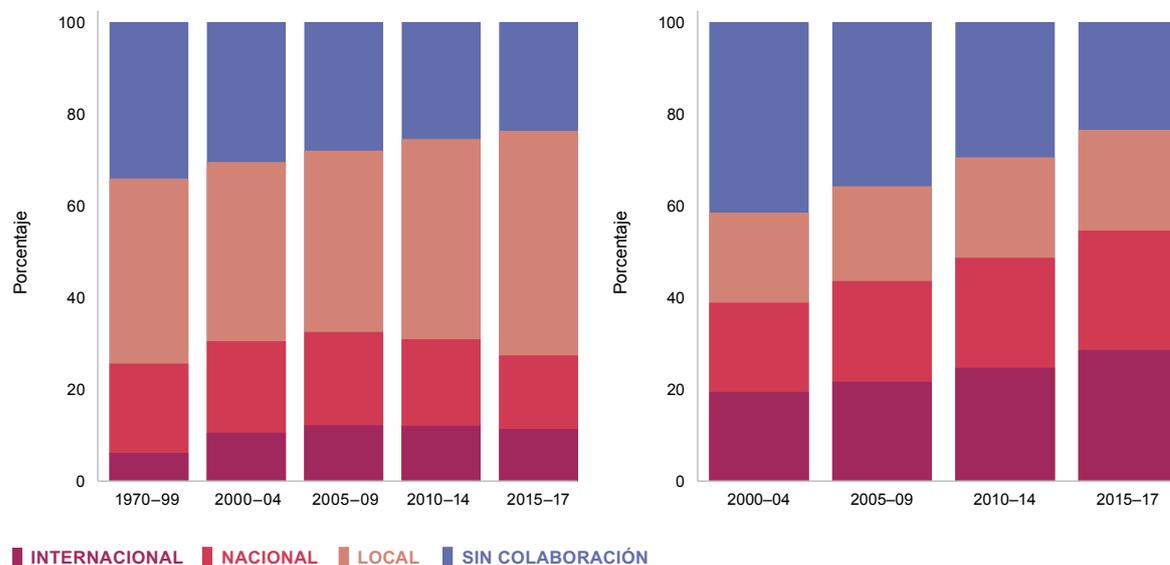
Gráfico 2.11 Porcentaje de equipos internacionales de patentamiento (izquierda) y equipos internacionales de publicación (derecha), dentro y fuera de núcleos mundiales de innovación y conglomerados sectoriales



Fuente: OMPI, a partir de datos de PATSTAT, el PCT y *Web of Science* (véanse los recuadros 2.1 y 2.2).  
 Notas: Las cifras de patentamiento se basan en las familias internacionales de patentes.

## Dispersión de la publicación científica, reconcentración de la actividad de patentamiento

Gráfico 2.12 Porcentaje de interacciones en materia de coinvencción (izquierda) y copublicación (derecha) de los núcleos mundiales de innovación y conglomerados sectoriales, por ubicación del socio



Fuente: OMPI, a partir de datos de PATSTAT, el PCT y *Web of Science* (véanse los recuadros 2.1 y 2.2).  
 Notas: Las cifras de patentamiento se basan en las familias internacionales de patentes.

que haya disminuido la colaboración local, nacional o internacional. Las invenciones que cuentan con un único inventor representaban un tercio en las décadas de 1970 y 1980, y menos de un cuarto en 2017. Las publicaciones científicas de un solo autor pasaron de más del 40% a principios de la década de 2000 a menos del 25% en la segunda mitad de la década de 2010. Cuanto más colaboran los núcleos de innovación y los conglomerados sectoriales, más densa es la red de conocimientos que crean.

En otros ámbitos el panorama difiere si la producción es inventiva o científica. En las patentes, el porcentaje de equipos únicamente locales es mayor que el de los nacionales e internacionales, pero no ocurre así con las publicaciones científicas. Sin embargo, respecto de estas últimas, la copublicación internacional ha seguido aumentando más rápido que las colaboraciones nacionales y locales. La misma tendencia se observa en las patentes desde principios de la década de 1980 hasta la segunda mitad de la de 2000.<sup>15</sup>

Sin embargo, desde 2005 aproximadamente, ha vuelto a aumentar la proporción de patentes únicamente locales. Este cambio coincide con la desaceleración de la globalización y la internacionalización en general, como indica la ralentización del crecimiento en el comercio, los flujos de inversión extranjera directa y la integración financiera. También coincide con la caída registrada en el porcentaje de patentes generadas por equipos nacionales y no solo locales. La explicación de esto último podría ser que parte de la desaceleración de la globalización de la innovación y los conocimientos se debe al surgimiento de núcleos locales y no tanto al desarrollo de nuevos sistemas nacionales de innovación. Como se explicará más adelante, este patrón está más consolidado en algunos países de Asia.

La situación también varía considerablemente por países, como se indica en el gráfico 2.13, que amplía el análisis del gráfico 2.12 al desglosar los núcleos de innovación y conglomerados sectoriales de varios países innovadores líderes. Las tendencias específicas de cada país sobre publicación científica se corresponden mayoritariamente con lo observado en el gráfico 2.12, ya que prácticamente todos los países registran patrones similares y aumentos de la colaboración. Aun así, existen algunas diferencias. En los Estados Unidos, el Japón, Alemania y Suiza, el aumento del porcentaje de copublicaciones internacionales es la principal causa de la reducción allí observada de investigaciones científicas no colaborativas. China,

la India y, en cierta medida, la República de Corea han obtenido un crecimiento menos exuberante de la colaboración científica internacional. En estos países, la reducción del porcentaje de publicaciones científicas no colaborativas refleja en gran medida el aumento de la colaboración nacional y local.

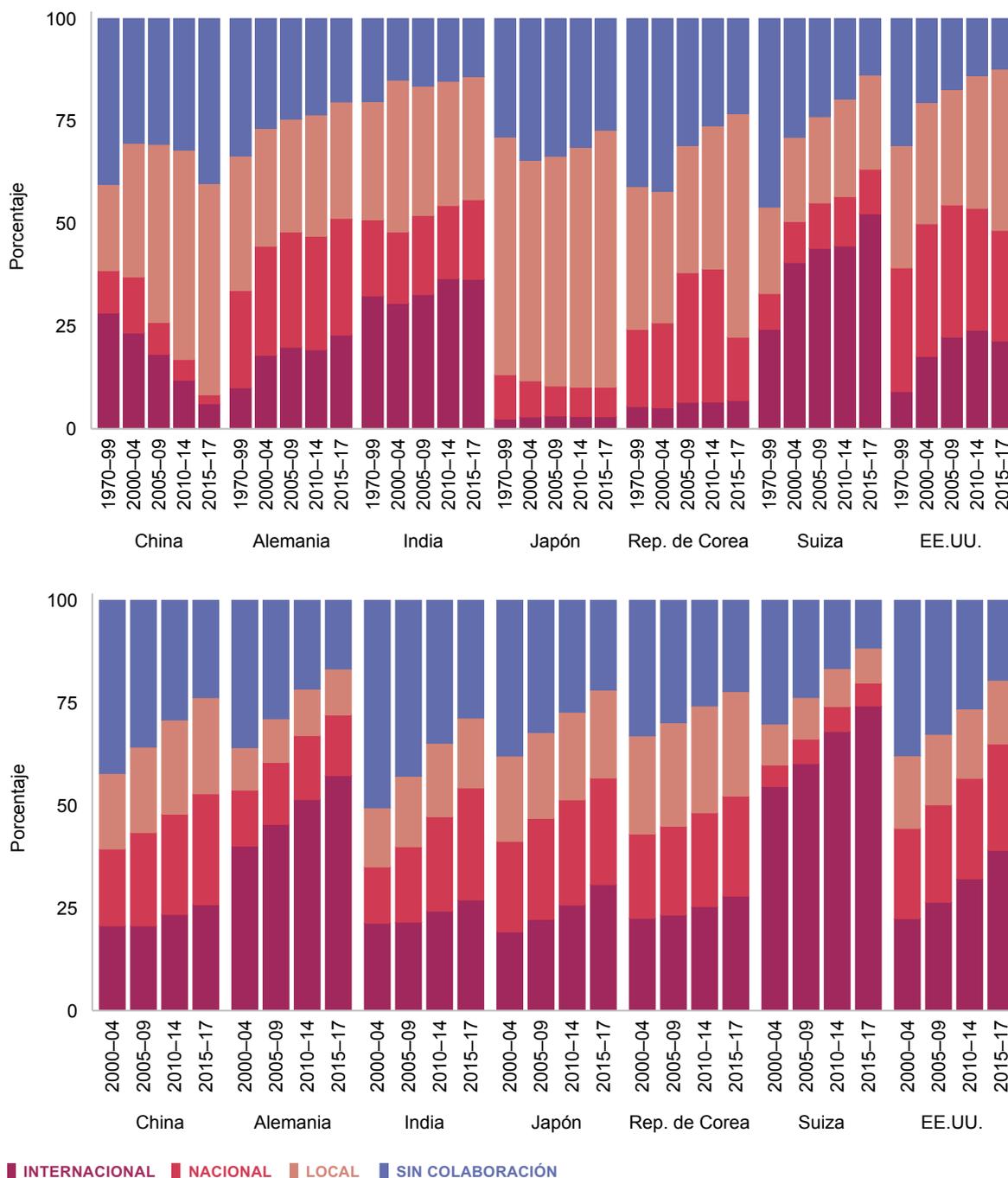
En consonancia con las tendencias de las empresas multinacionales mencionadas en la sección anterior, las tendencias de coinvencción de patentes varían notablemente según el país. Países como la India o Suiza pueden estar muy abiertos a la coinvencción internacional, mientras que otros, como la República de Corea, el Japón y, más recientemente, China se hallan en el otro extremo. Se ha observado un descenso importante de la proporción de equipos internacionales de generación de patentes en algunos países, especialmente en China, debido al repentino aumento de las coinvencciones exclusivamente locales. Sin embargo, para la mayoría de los países, la proporción de coinvencciones internacionales ha aumentado o solo se ha estancado ligeramente en los últimos años.

Las empresas multinacionales pueden tener estrategias y necesidades muy diferentes sobre dónde buscar talento, y estas pueden cambiar con el tiempo (gráfico 2.14). Por ejemplo, en la década de 2010, San José–San Francisco representaba el 53% de las patentes de Google. Así mismo, Núremberg —el centro de patentes más importantes de Siemens— representaba el 32% de las patentes de esta empresa en el mismo período. Como cabía esperar, Tokio y Shenzhen–Hong Kong son las principales fuentes de invenciones de Sony y Huawei, que concentran el 71% y el 81% respectivamente. Es interesante que, si se comparan la década de 2010 y la de 2000, Google y Siemens han concentrado más actividades inventivas dentro de sus principales núcleos de innovación, mientras que con Sony y Huawei ocurre lo contrario.

Las empresas multinacionales de países con economías de ingresos medianos —como, por ejemplo, el Brasil y la India— también buscan talento de otras maneras. La empresa de servicios tecnológicos Infosys posee una red generalizada pero predominantemente india. El fabricante de aviones brasileño Embraer se sigue concentrando en São José dos Campos, donde también está la sede de la empresa. Sin embargo, en la década de 2010, Embraer sustituyó su segundo centro nacional, São Paulo, por conexiones más internacionales, entre otras San José–San Francisco, Los Ángeles o Seúl.

### Diferencias en las tendencias de los países, en particular respecto de las patentes

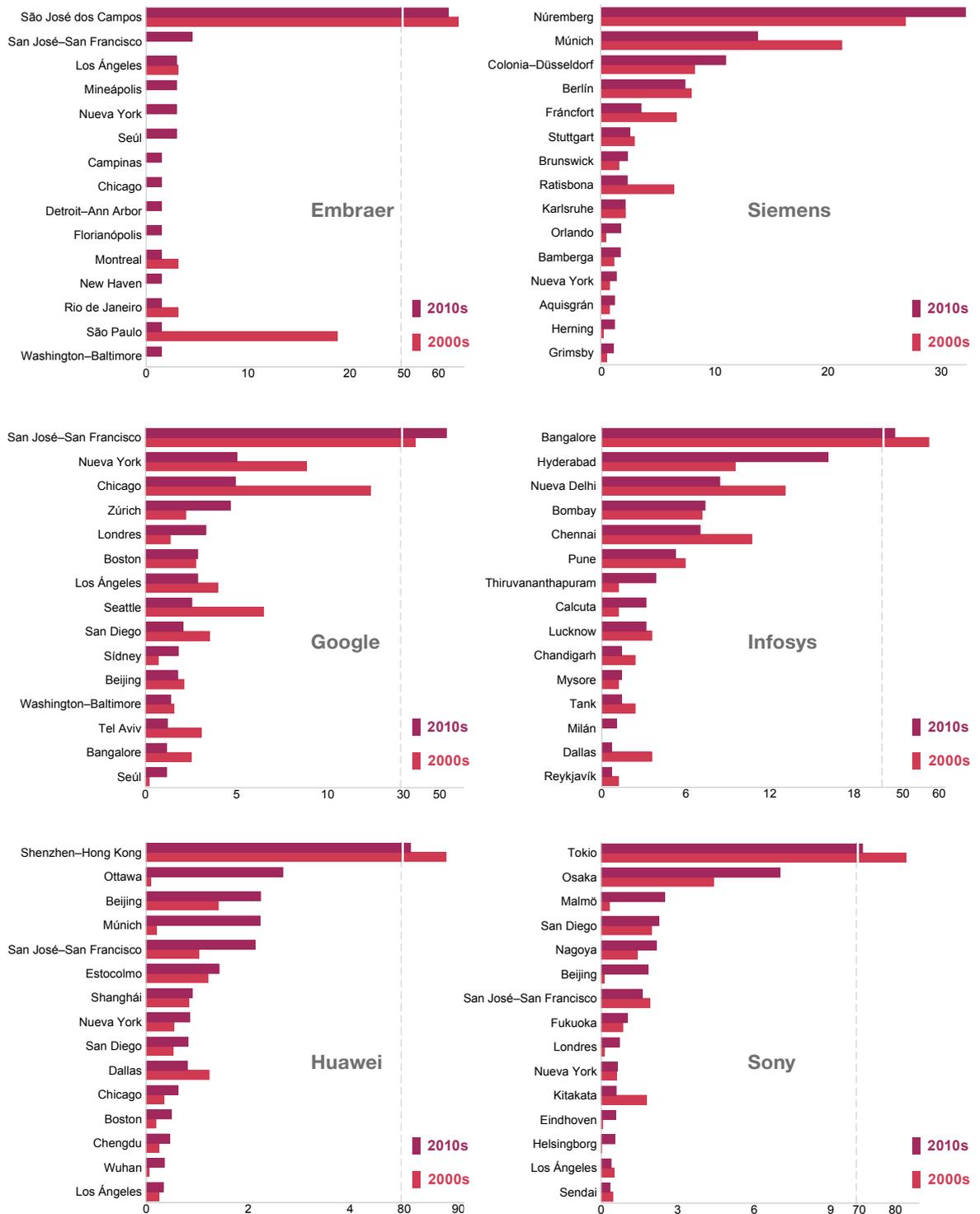
Gráfico 2.13 Porcentaje de interacciones en materia de coinvencción (arriba) y copublicación (abajo) de los núcleos mundiales de innovación y conglomerados sectoriales, por ubicación del socio, en países seleccionados



Fuente: OMPI, a partir de datos de PATSTAT, el PCT y *Web of Science* (véanse los recuadros 2.1 y 2.2).  
 Notas: Las cifras de patentamiento se basan en las familias internacionales de patentes.

**Cada empresa multinacional posee una estrategia de conectividad diferente**

**Gráfico 2.14 Red mundial de coinvencción de determinadas empresas**



Fuente: OMPI, a partir de datos de PATSTAT, el PCT y *Web of Science* (véanse los recuadros 2.1 y 2.2).  
 Notas: Los 15 principales núcleos mundiales de innovación, por ubicación del inventor, de patentes donde la empresa figura como solicitante. Las cifras de patentamiento se basan en las familias internacionales de patentes.

## Red mundial de núcleos de innovación y conglomerados sectoriales

Las aglomeraciones con densidad de innovación de todo el mundo forman una red —dentro y fuera de sus propios países— que concentra las actividades más inventivas y científicas, en posible detrimento de los actores no aglomerados.<sup>16</sup> En particular, estas aglomeraciones innovadoras forman una red densa de conexiones nacionales e internacionales entre los núcleos de innovación y conglomerados sectoriales de Estados Unidos, Europa y Asia. Solo 10 núcleos de innovación representan el 26% de todas las coinvencciones internacionales entre núcleos de innovación de todo el mundo (gráfico 2.15). Se trata de San José, San Francisco, Nueva York, Fráncfort, Tokio, Boston, Shanghái, Londres, Beijing, Bangalore y París.

El gráfico 2.15 también muestra el 10% más alto de vínculos de coinvencción entre todos los núcleos de innovación de escala mundial y conglomerados sectoriales especializados. Incluso en los Estados Unidos, los conglomerados sectoriales y los núcleos de innovación menores suelen contar únicamente con conexiones nacionales. Sin embargo, a pesar de su amplia distribución geográfica, los núcleos de innovación de escala mundial y conglomerados sectoriales especializados de los Estados Unidos forman una red nacional de innovación mucho más densa que en cualquier lugar del mundo. Eso sí, en los Estados Unidos, los grandes núcleos de innovación concentran la mayor parte de las conexiones nacionales e internacionales con otros núcleos de innovación y conglomerados sectoriales.

En Europa puede observarse un patrón similar. Unos pocos núcleos de innovación grandes en cada país actúan como portales que conectan el sistema de innovación nacional a las redes mundiales de innovación. Se puede encontrar ejemplos claros en Francia, pues París conecta a otras ciudades francesas con el resto del mundo, y en el Reino Unido con Londres como actor central. Alemania también muestra una cierta estructura jerárquica, aunque los puntos de acceso a las redes mundiales de innovación son más numerosos y la red nacional de innovación es más densa. El Japón y la República de Corea también destacan con redes nacionales de innovación muy densas, pero sus conexiones internacionales son menos generalizadas y más dirigidas a los Estados Unidos y los principales núcleos de innovación de Europa Occidental.

Los núcleos de innovación y conglomerados sectoriales de las demás regiones del mundo tienen bastante menos conexiones que los de Estados Unidos, Europa Occidental, el Japón y la República de Corea, aunque entre los que sí las tienen, cabe destacar China, la India, el Canadá y Australia. China tiene una red nacional de innovación densa y también cierta estructura jerárquica, con Shanghái, Beijing y Shenzhen-Hong Kong como los principales portales internacionales. Gracias a una ventaja evidente por su proximidad, el Canadá cuenta con una red nacional muy integrada en la de Estados Unidos. La presencia de núcleos de innovación canadienses en la red general norteamericana contrasta con la ausencia de conexiones equivalentes de coinvencción en México.

A pesar del dominio de Bangalore, la India posee una red nacional de innovación bastante activa, con varios centros con vínculos internacionales directos. Del mismo modo, pese a su ubicación remota y vasto territorio, Australia logra contar con varios núcleos de innovación que la conectan internacionalmente y una red nacional bastante interconectada. Una región menos conectada que el resto es América Latina, donde la mayor parte de las conexiones de sus pocos núcleos de innovación y conglomerados sectoriales se dan con economías líderes fuera de la región. No existen redes nacionales o regionales en América Latina comparables a las descritas en otros países y regiones.

El examen anterior muestra que no solo la geografía incide en las redes mundiales de innovación. Desde una perspectiva de análisis de las redes, una aglomeración de innovación es más “central” dentro de una red mundial cuantas más conexiones internacionales concentre. El gráfico 2.16 muestra dicha centralidad al agrupar núcleos de innovación y conglomerados sectoriales con más conexiones en el centro y dispersar los menos conectados.

Como se ha señalado, las aglomeraciones estadounidenses son de las más conectadas, por lo que son más centrales en las redes de ambos períodos (gráfico 2.16). En el centro de la imagen hay otros núcleos de innovación de escala mundial que se consideran muy conectados, como Tokio, Londres, Shanghái, Beijing, Seúl o París. Sin embargo, son mucho menos centrales que los núcleos de innovación de Estados Unidos. La red ha ido cambiando con el tiempo, creando más nodos y conexiones y volviéndose más densa en el centro.

El tamaño solo tiene un papel limitado. Hay conglomerados pequeños que están conectados a otros grandes muy conectados del mismo país, lo que refleja el patrón jerárquico descrito anteriormente. Sin duda así ocurre en las aglomeraciones del Reino Unido, el Japón y la República de Corea. En cambio, algunos núcleos que son más grandes o similares en tamaño a las principales aglomeraciones de los Estados Unidos (por ejemplo, Tokio) no logran ocupar la misma posición en la red mundial. Ello refleja la menor conectividad internacional de los núcleos de innovación japoneses.

El gráfico 2.17 muestra subredes de la misma red de coinventiones entre 2011 y 2015 presentada en el gráfico 2.16. Presenta una subred de todos los conglomerados sectoriales resaltando en gris las conexiones de red de todos los núcleos de innovación. Es evidente que esas áreas con densidad de innovación especializada no pueden competir con los núcleos de innovación por volumen de conexiones. Las pocas conexiones entre los conglomerados sectoriales casi siempre se dan dentro del mismo país.

El gráfico también presenta las subredes concretas de dos núcleos de innovación (Los Ángeles en los Estados Unidos y Daejeon en la República de Corea) que son de un tamaño equivalente en cuanto al número de patentes que generan. El núcleo de Los Ángeles está muy conectado nacional e internacionalmente, lo que lo convierte en un nodo relativamente central en la red mundial. Daejeon no ocupa un lugar tan central porque prácticamente se concentra solo con otras aglomeraciones coreanas. Las conexiones internacionales de Daejeon se limitan principalmente a Shanghái, San Francisco y Nueva York.

En consecuencia, la geografía, por sí sola, no determina la importancia o la “centralidad” de una aglomeración líder de innovación dentro de una red. Deben analizarse otros muchos factores.

## 2.4 Conclusiones

En este capítulo se han utilizado muchos datos de solicitudes de patentes y publicaciones científicas para responder a varias preguntas sobre dos fenómenos actuales relacionados con el modo en que se genera e intercambia el conocimiento en todo el mundo: su distribución geográfica internacional y, al mismo tiempo,

su concentración en unos pocos núcleos geográficos. La creación de patentes y artículos científicos ha superado el ámbito de las economías que tradicionalmente generan conocimientos (Europa, el Japón y los Estados Unidos). Este es un avance notable, ya que los fenómenos relacionados con el conocimiento —como el patentamiento, la producción científica, la inversión en I+D, etc.— siempre han estado más concentrados que otras áreas de la globalización, como el comercio o la inversión extranjera directa.

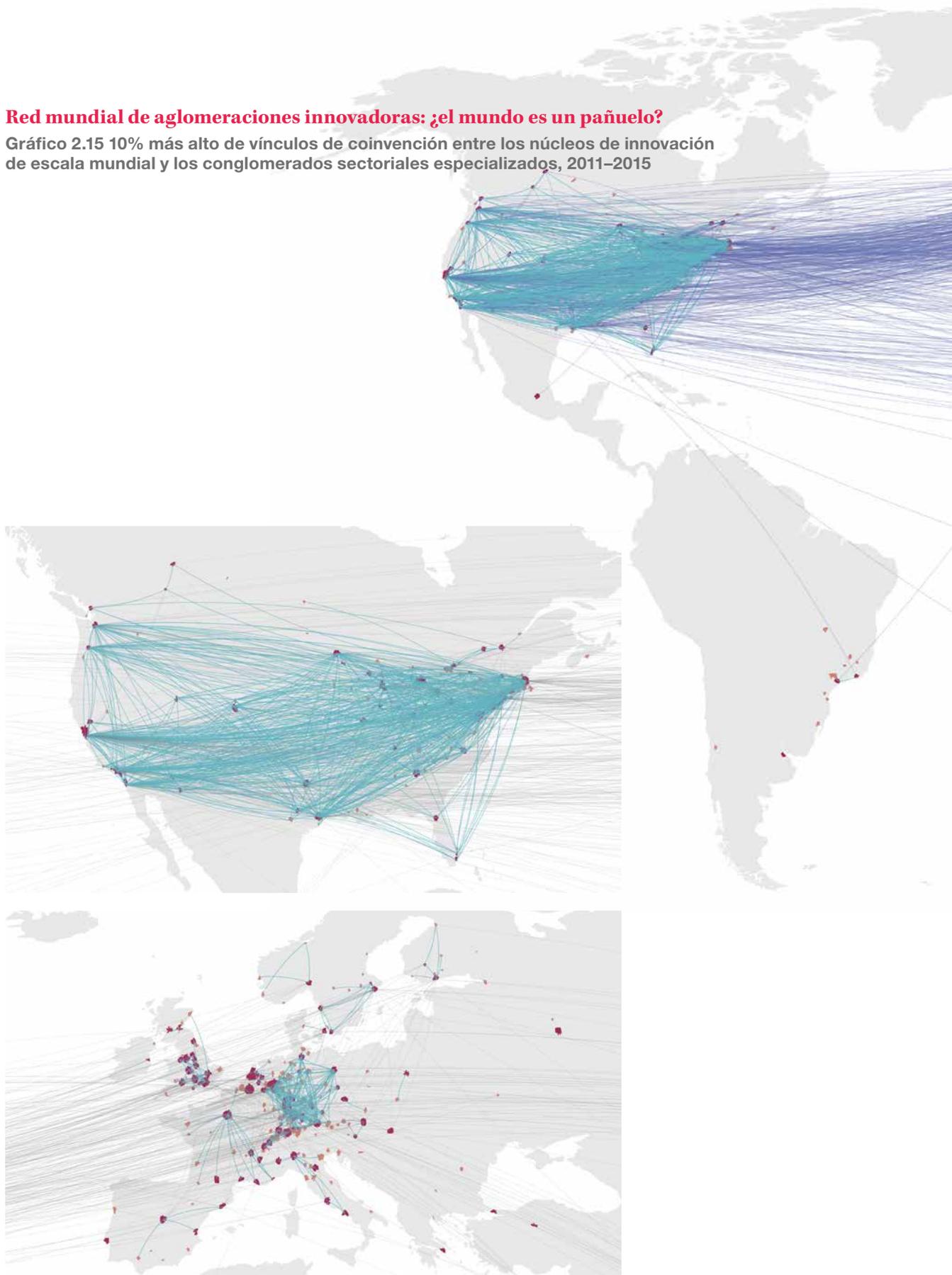
Sin embargo, unas pocas economías occidentales, junto con el Japón y la República de Corea, representan casi el 80% de la actividad de patentamiento y cerca del 57% de toda la publicación científica orientada internacionalmente, lo cual no es poco. De hecho, parece que la expansión de la generación de conocimiento se debe principalmente a un pequeño grupo de economías en desarrollo de ingresos medianos, en particular China. Asimismo, algunas zonas del mundo, especialmente África y América Latina, se quedan fuera de todo el proceso de globalización del conocimiento.

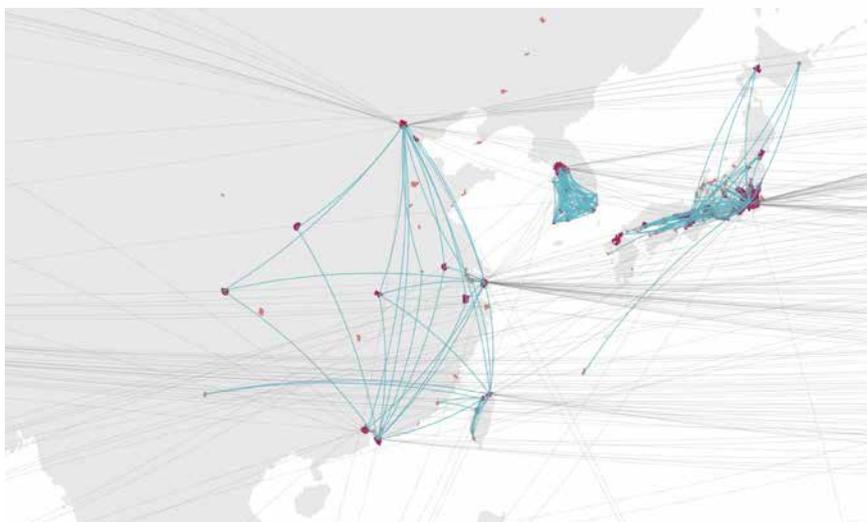
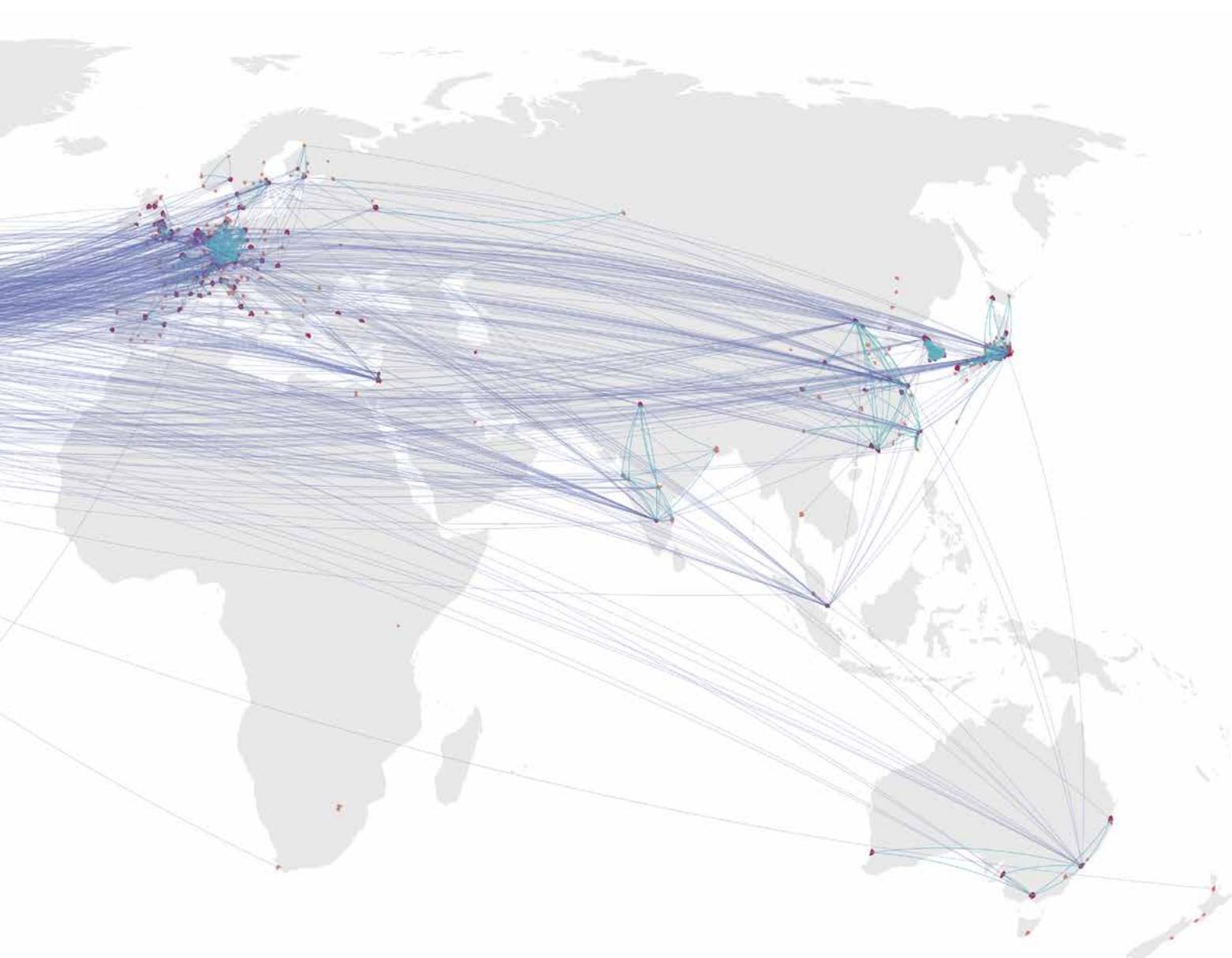
Parte de la limitada expansión geográfica de la actividad de conocimiento se debe a la aparición de redes mundiales de innovación, que primero establecen vínculos entre países más tradicionales en materia de innovación y después los acercan a las economías de ingresos medianos. Sin embargo, las redes entre países centrales son dominantes y las redes de innovación en las que solo participan economías no centrales tienen una importancia marginal en relación con el patentamiento. En cuanto a la publicación científica, algunas economías de ingresos medianos, y también ciertas subredes entre dichas economías, están empeñando a desempeñar un papel más importante.

En términos generales, la producción de conocimiento y las interacciones se están volviendo cada vez más globales en cuanto a su alcance, gracias a la expansión de los centros de creación de conocimientos y a la formación de equipos internacionales. Se ha observado cierto estancamiento en las redes de coinención, lo que refleja una desaceleración más generalizada de la globalización, pero no ha cesado la colaboración internacional en relación con la publicación de artículos científicos. No obstante, como se indica en el capítulo 1, en realidad las redes mundiales de innovación no pueden circunscribirse a redes basadas

### Red mundial de aglomeraciones innovadoras: ¿el mundo es un pañuelo?

Gráfico 2.15 10% más alto de vínculos de coinención entre los núcleos de innovación de escala mundial y los conglomerados sectoriales especializados, 2011–2015



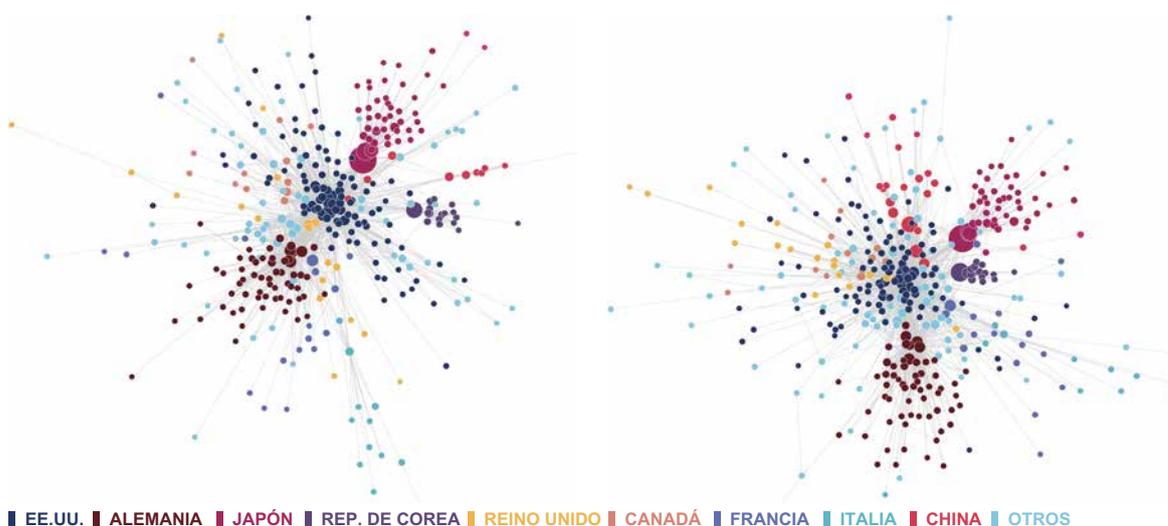


Fuente: OMPI, a partir de datos de PATSTAT, el PCT y *Web of Science* (véanse los recuadros 2.1 y 2.2).

Notas: Solo se indica el 10% más alto de conexiones internacionales de cada período reseñado. Las líneas verdes conectan los núcleos mundiales de innovación y conglomerados sectoriales del mismo país, y las líneas moradas conectan con los de otros países. Las burbujas indican los diez núcleos principales por volumen de conectividad. Las cifras de patentamiento se basan en las familias internacionales de patentes.

## Las aglomeraciones de unas pocas economías son cruciales para la red mundial de innovación

Gráfico 2.16 Red de coinención de patentes, 2001-2005 y 2011-2015



Fuente: OMPI, a partir de datos de PATSTAT, el PCT y *Web of Science* (véanse los recuadros 2.1 y 2.2).

Notas: Solo se indica el 10% más alto de conexiones internacionales de cada período reseñado. El tamaño de la burbuja indica el volumen de patentamiento. Las burbujas se colocan según su centralidad en la red. Las cifras de patentamiento se basan en las familias internacionales de patentes.

principalmente en unos pocos países de ingresos altos. Algunas regiones del mundo aún tienen mucho por hacer para integrarse en las redes internacionales y, en última instancia, formar parte de las redes mundiales de innovación. Sin duda, la colaboración internacional con los principales núcleos de innovación es una forma de avanzar que ha sido útil en cierta medida para las economías de Asia Oriental, en particular China.

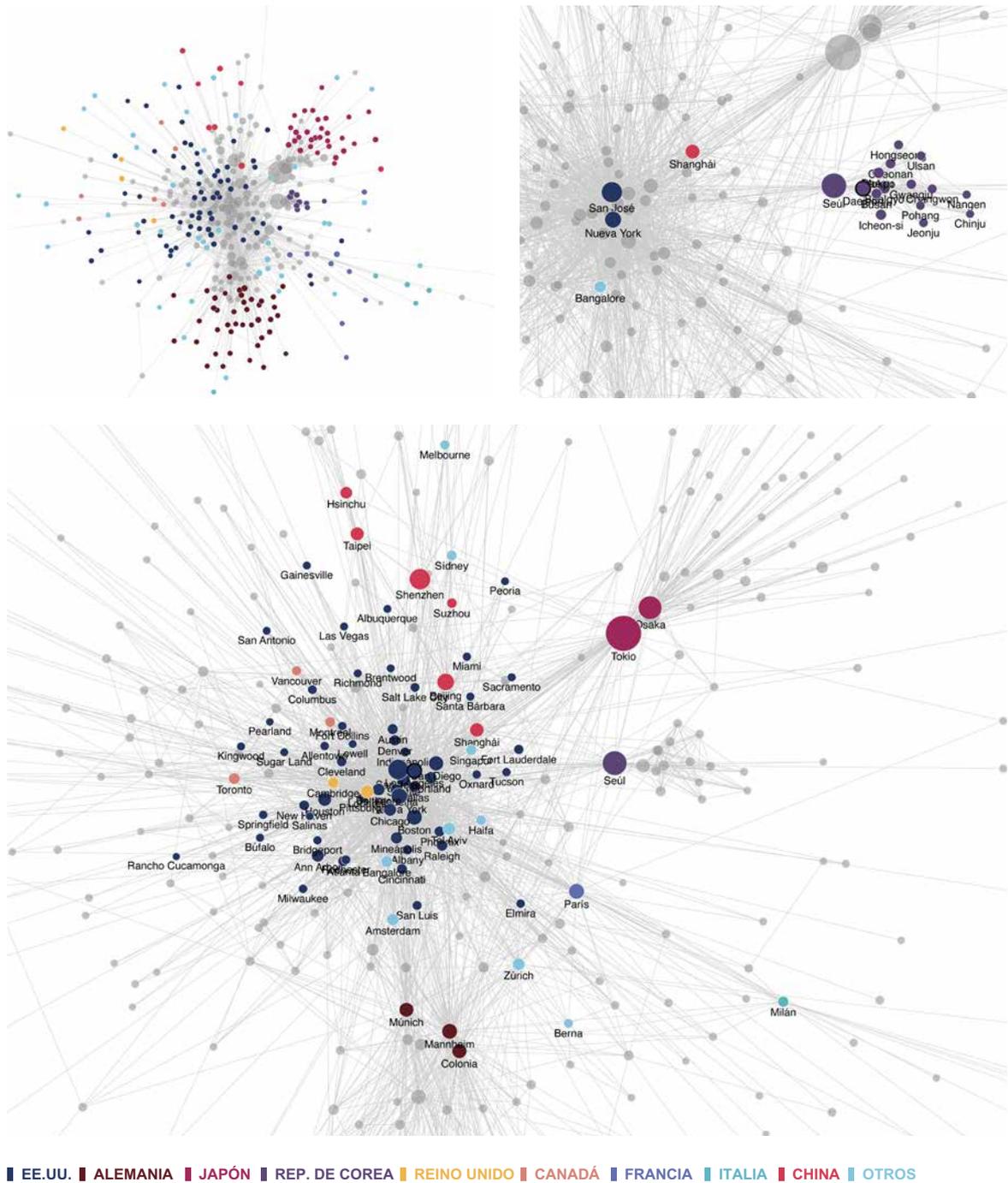
Otro mensaje importante está relacionado con la distribución geográfica de la generación de conocimiento dentro de los países (tanto en los establecidos como en los emergentes en cuanto a la producción de conocimientos). Pese a la mayor expansión mundial del conocimiento, no existe una expansión similar dentro de los países; existe incluso una mayor concentración en algunos. Por supuesto, ello puede tener importantes

consecuencias en la distribución de los beneficios económicos dentro de los países, lo cual debe abordarse adecuadamente (véase el capítulo 5).

Estas aglomeraciones —identificadas como núcleos de innovación o conglomerados sectoriales— no solo siguen concentrando una proporción más alta de la producción de las ideas innovadoras. También concentran cada vez más conexiones con otros núcleos, dentro y fuera de sus propios países, a través de una red mundial de innovación con relativamente pocos núcleos. Ello resulta problemático para las áreas de los países que no solo generan menos innovación, sino que además carecen de la conectividad necesaria con el resto del mundo. La falta de conectividad puede sumir a los países o a las zonas aisladas en sendas de desarrollo no innovador.

**El tamaño desempeña un papel en la centralidad de la red, pero no lo es todo**

**Gráfico 2.17 Red de conglomerados sectoriales especializados y subredes mundiales de innovación de Los Ángeles y Daejeon, 2011–2015**



Fuente: OMPI, a partir de datos de PATSTAT, el PCT y *Web of Science* (véanse los recuadros 2.1 y 2.2).  
 Notas: El tamaño de la burbuja indica el volumen de patentamiento. Las burbujas se colocan según su centralidad en la red. Las burbujas marcadas en gris no pertenecen a la subred.

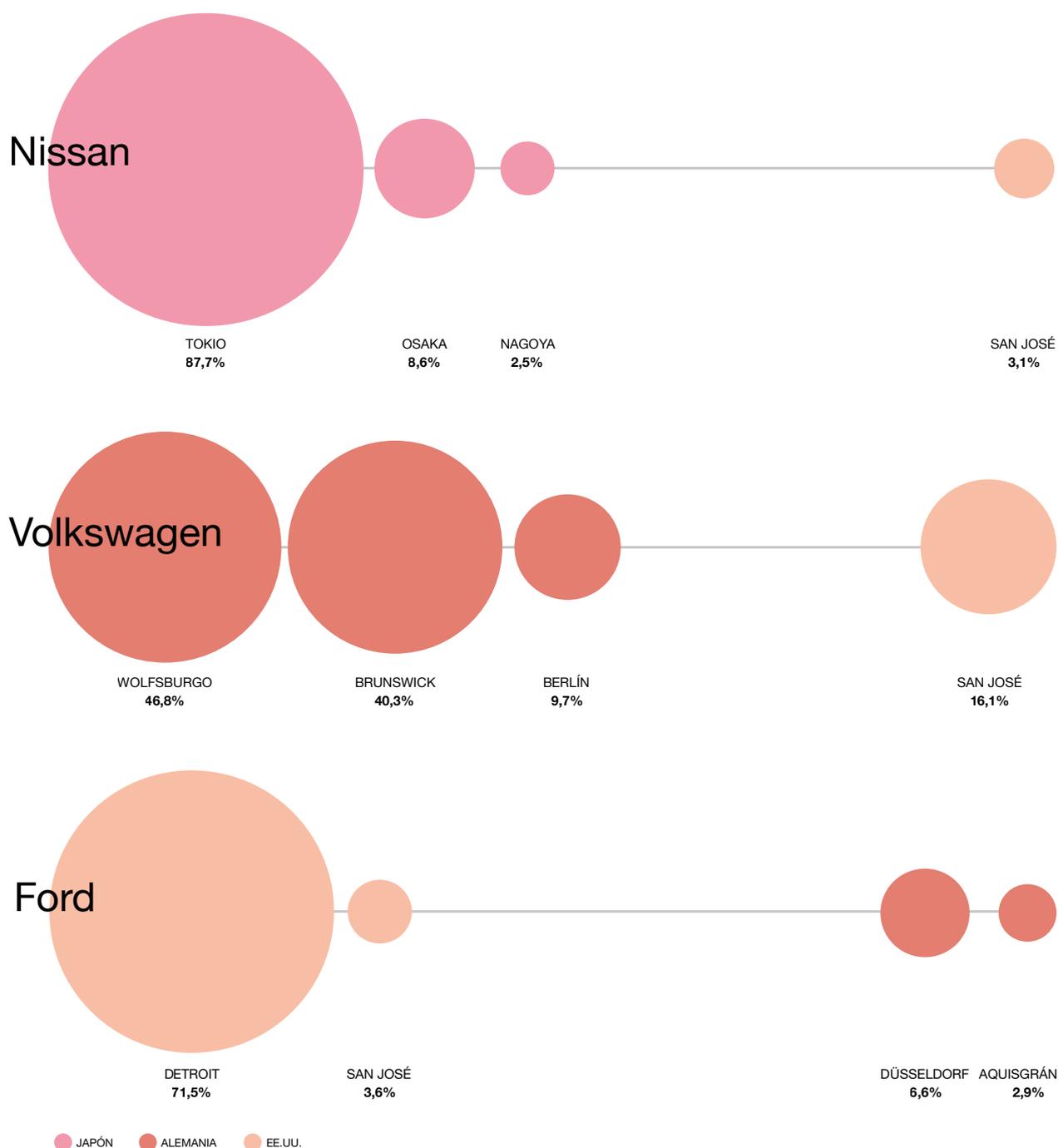
## Notas

- 1 Este capítulo se basa en Miguelez *et al.* (2019).
- 2 El trabajo de información se basa en el esfuerzo investigador y la generosidad de muchos otros. En particular, se basa en datos de patentes geocodificados de Yin y Motohashi (2018), Ikeuchi *et al.* (2017), Li *et al.* (2014), de Rassenfosse *et al.* (2019), Morrison *et al.* (2017) y PatentsView ([www.patentsview.org](http://www.patentsview.org); fecha de consulta: marzo de 2019).
- 3 Véase Miguelez *et al.* (2019).
- 4 Amendolagine *et al.* (2019).
- 5 Alcácer y Zhao (2016).
- 6 Véase una revisión en Miguelez *et al.* (2019).
- 7 Véase Ester *et al.* (1996).
- 8 Véanse las notas técnicas para más información.
- 9 Los economistas han concluido que los datos de luz nocturna son un indicador relativamente bueno de la densidad de población y establecimientos (véase Mellander *et al.*, 2015), pero también tiene limitaciones. Se conoce un vínculo menos fuerte con otros indicadores económicos (como, por ejemplo, los salarios) y algunas distorsiones técnicas conocidas relacionadas con el exceso de luminosidad, los destellos provocados por emisión de gases, las auroras y las luces cero (*zero lights*).
- 10 UNCTAD (2005) y Cantwell y Janne (1999).
- 11 Para un análisis de la desaceleración de la coinvencción, véase Miguelez *et al.* (2019).
- 12 Branstetter *et al.* (2014).
- 13 He *et al.* (2017) y UNCTAD (2005).
- 14 Branstetter *et al.* (2018).
- 15 Véase Miguelez *et al.* (2019) para consultar una serie completa.
- 16 Véase Chaminade *et al.* (2016).

## Referencias

- Alcácer, J. and M. Zhao (2016). Zooming in: a practical manual for identifying geographic clusters. *Strategic Management Journal*, 37(1), 10–21. [doi.org/10.1002/smj.2451](https://doi.org/10.1002/smj.2451)
- Amendolagine, V., C. Chaminade, J. Guimón and R. Rabelotti (2019). Cross-Border Knowledge Flows Through R&D FDI: Implications for Low- and Middle-Income Countries. Papers in Innovation Studies No. 2019/09. Lund: CIRCLE, Lund University.
- Branstetter, L., B. Glennon and J.B. Jensen (2018). Knowledge Transfer Abroad: The Role of US Inventors within Global R&D Networks. Working Paper No. 24453. Cambridge, MA: National Bureau of Economic Research.
- Branstetter, L., G. Li and F. Veloso (2015). The rise of international co-invention. In Jaffe, A.B. and B.F. Jones (eds), *The Changing Frontier: Rethinking Science and Innovation Policy*. Chicago: University of Chicago Press, 135–168.
- Cantwell, J. and O. Janne (1999). Technological globalisation and innovative centres: the role of corporate technological leadership and locational hierarchy. *Research Policy*, 28, (Issues 2–3), 119–144. [doi.org/10.1016/S0048-7333\(98\)00118-8](https://doi.org/10.1016/S0048-7333(98)00118-8)
- Chaminade, C., C. De Fuentes, G. Harirchi and M. Plechero (2016). The geography and structure of global innovation networks: global scope and regional embeddedness. In: Shearmur, R., C. Carrincazeaux and D. Doloreux (eds), *Handbook on the Geographies of Innovation*. Cheltenham: Edward Elgar, 370–381.
- de Rassenfosse, G., J. Kozak and F. Seliger (2019). Geocoding of worldwide patent data. [papers.ssrn.com/sol3/papers.cfm?abstract\\_id=3425764](https://papers.ssrn.com/sol3/papers.cfm?abstract_id=3425764)
- Ester, M., H.-P. Kriegel, J., Sander and X. Xu (1996). A density-based algorithm for discovering clusters in large spatial databases with noise. *Proceedings of the 2<sup>nd</sup> International Conference on Knowledge Discovery and Data Mining (KDD-96)*, Portland, Oregon, August 2–4, Menlo Park, CA: AAAI Press, 226–231.
- He, S., G. Fallon, Z. Khan, Y.K. Lew, K.H. Kim and P. Wei (2017). Towards a new wave in internationalization of innovation? The rise of China's innovative MNEs, strategic coupling, and global economic organization. *Canadian Journal of Administrative Sciences*, 34(4), 343–355. [doi.org/10.1002/CJAS.1444](https://doi.org/10.1002/CJAS.1444)
- Ikeuchi, K., K. Motohashi, R. Tamura and N. Tsukada (2017). Measuring Science Intensity of Industry using Linked Dataset of Science, Technology and Industry. *RIETI Discussion Paper Series*, 17-E-056. [www.rieti.go.jp/en/publications/summary/17030073.html](http://www.rieti.go.jp/en/publications/summary/17030073.html)
- Li, G.-C., R. Lai, A. D'Amour, D.M. Doolin, Y. Sun, V.I. Torvik and L. Fleming (2014). Disambiguation and co-authorship networks of the U.S. patent inventor database (1975–2010). *Research Policy*, 43, 941–955.
- Mellander C., J. Lobo, K. Stolarick and Z. Matheson (2015). Night-time light data: a good proxy measure for economic activity? *PLoS ONE* 10(10): e0139779. [doi.org/10.1371/journal.pone.0139779](https://doi.org/10.1371/journal.pone.0139779)
- Miguelez, E., J. Raffo, C. Chacua, M. Coda-Zabetta, D. Yin, F. Lissoni and G. Tarasconi (2019). Tied In: The Global Network of Local Innovation. *WIPO Working Paper No. 58*, November. Geneva: WIPO.
- Morrison, G., M. Riccaboni and F. Pammolli (2017). Disambiguation of patent inventors and assignees using high-resolution geolocation data. *Scientific Data*, 4. [doi.org/10.1038/sdata.2017.64](https://doi.org/10.1038/sdata.2017.64)
- UNCTAD (2005). World investment report 2005: transnational corporations and the internationalization of R&D – overview. *Transnational Corporations*, 14(3), 101–140.
- Yin, D. and K. Motohashi (2018). Inventor Name Disambiguation with Gradient Boosting Decision Tree and Inventor Mobility in China (1985–2016), *RIETI Discussion Paper Series*, 18-E-018. [www.rieti.go.jp/en/publications/summary/18030018.html](http://www.rieti.go.jp/en/publications/summary/18030018.html)

La colaboración entre los fabricantes de automóviles y las empresas de tecnología está comenzando a modificar la geografía de la innovación en el sector.



# Empresas de automoción y de tecnología – el impulso al vehículo autónomo

**En 2004, el Departamento de Defensa de los Estados Unidos de América organizó una novedosa carrera todo terreno en el Desierto de Mojave. La novedad residía en que sólo podían participar automóviles sin conductor o de conducción autónoma. El premio para el ganador del “Grand Challenge”, con un recorrido de 240 km, era de 1 millón de dólares de los EE. UU. Nadie consiguió el premio porque ningún participante finalizó la carrera.<sup>1</sup>**

**No obstante, un año más tarde, la Agencia de Proyectos de Investigación Avanzada para la Defensa (DARPA) convocó de nuevo la competición y dobló el premio. Atrajo a docenas de participantes y esta vez varios de ellos finalizaron la carrera. El ganador de la carrera celebrada en el desierto fue “Stanley,” un vehículo autónomo (VA) presentado por la Universidad de Stanford, y los puestos segundo y tercero fueron ocupados por vehículos presentados por la Universidad Carnegie Mellon (CMU).**

La industria del automóvil ha previsto los vehículos autónomos<sup>2</sup> al menos desde que la empresa General Motors (GM) presentó su concepto “Futurama” en la Exposición Universal de 1939. Incluso en esos primeros tiempos, GM no era la única empresa que aspiraba a un futuro en el que la conducción autónoma fuera una realidad y en los años siguientes se produjeron varios intentos de realización de vehículos autónomos. Sin embargo, ha sido desde mediados de la década de 2000 cuando los grandes progresos en robótica y, particularmente, en inteligencia artificial (IA)<sup>3</sup> han comenzado a convertir una antigua aspiración en algo más cercano a la realidad.

La industria del vehículo autónomo (VA) está aún en sus inicios y transcurrirán años antes de la llegada al mercado de vehículos plenamente autónomos (nivel 5). Sin embargo, la robótica y la IA están reconfigurando la industria del automóvil hasta tal punto que las nuevas tecnologías constituyen una amenaza para la existencia de los fabricantes de automóviles tradicionales. La IA, el análisis de datos y una plétora de dispositivos y componentes conectados están reformulando el modelo de negocio de la industria hacia los servicios y la llamada “economía de plataformas”.

Los fabricantes de automóviles tradicionales temen ser desplazados y quedar relegados a un papel secundario en el ámbito de sus competencias fundamentales, a saber, la fabricación y la comercialización de automóviles. Para hacer frente a esos desafíos tienen varias opciones, desde la investigación para desarrollar conocimientos propios, la contratación de capital humano y las alianzas estratégicas, hasta las adquisiciones de nuevas empresas, o bien, una combinación de ellas.<sup>4</sup> No está claro cuál será la estrategia o combinación de estrategias más exitosa. No obstante, es evidente que ni los operadores tradicionales ni los nuevos actores tienen todas las competencias necesarias para fabricar vehículos autónomos. Por ello necesitan, bien colaborar, bien desarrollar internamente las respectivas competencias de las que carecen.

Ante este panorama, el objetivo del presente capítulo es analizar los actuales polos de innovación de la industria

automotriz y entender de qué forma el VA está afectando a la distribución y concentración geográfica de la innovación (véase el capítulo 1). Una comprensión cabal de las relaciones entre los actores nuevos y los históricos puede proporcionar las claves de la evolución de los actuales polos de innovación. La forma en que las empresas reaccionen ante las nuevas tecnologías ligadas al VA determinará cuáles liderarán el mercado y qué regiones se convertirán en núcleos tecnológicos del VA.

En las secciones siguientes del presente capítulo se analiza la evolución actual de la tecnología ligada al VA y sus actores principales. Asimismo, se examinan brevemente otras dos tecnologías conexas: la movilidad y la conectividad. A continuación, se exploran los efectos de la tecnología ligada al VA en la industria automotriz desde dos perspectivas. En primer lugar, si la tecnología ligada al VA está modificando la naturaleza de la colaboración en innovación entre operadores tradicionales y nuevos actores y en el seno de cada uno de ellos. En segundo lugar, si está modificando la geografía de la innovación. Finalmente, se analizan los posibles efectos positivos y negativos.

### 3.1 Definiciones

#### Componentes básicos de un sistema de automatización de la conducción

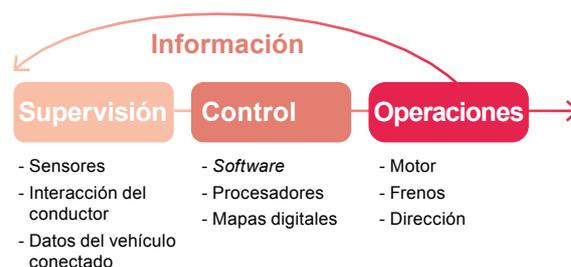
Todo sistema automatizado basado en sistemas informáticos consta de tres componentes funcionales básicos, como se representa en el gráfico 3.1, a saber: supervisión, control y operaciones. La supervisión consiste en la detección y la vigilancia, el control consiste en la toma de decisiones y mediante las operaciones se ejecutan las decisiones tomadas. Además, los sistemas automatizados también pueden incluir bucles de retroinformación y posiblemente el aprendizaje automático.

#### Niveles de automatización de la conducción

La norma establecida por la industria (SEA, Sociedad de Ingenieros de Automoción) para los términos relacionados con los vehículos automatizados es la *Taxonomy and Definitions for Terms Related to Driving Automation Systems for On-Road Motor Vehicles* (SAE J3016) (Taxonomía y definiciones de términos relativos a los sistemas de automatización de la conducción para

### Componentes fundamentales de la conducción apoyada en sistemas informáticos

Gráfico 3.1 Tres componentes funcionales básicos de todo sistema automatizado basado en sistemas informáticos



Fuente: Centro de Investigación del Automóvil (CAR).

vehículos a motor en circulación). Fue publicada inicialmente en 2014 y revisada sustancialmente en 2018.

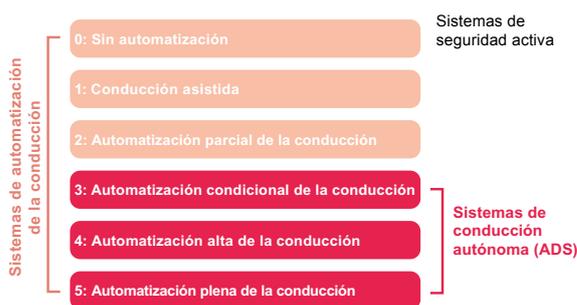
El estándar SAE presenta y define seis niveles de automatización de la conducción (gráfico 3.2), incluido el nivel 0 correspondiente a los sistemas que no realizan tareas de conducción dinámica de forma sostenible. Los niveles 1 y 2 se denominan de asistencia al conductor y de automatización parcial de la conducción respectivamente. Los niveles inferiores de automatización exigen, como mínimo, que el conductor supervise de manera activa el sistema de automatización de la conducción. Los sistemas de automatización de la conducción que realizan la tarea completa de conducción dinámica son los niveles SAE 3, 4 y 5, que en conjunto se describen como sistemas de conducción automatizada (ADS). Aunque el presente capítulo se centra en las tecnologías de nivel 3 y superiores, el análisis empírico no excluye innovaciones históricas realizadas en las décadas de 1980, 1990 y en los primeros años de la década de 2000, que sentaron las bases de la moderna tecnología ligada al VA.

### 3.2 Evolución tecnológica de la industria automotriz

La bibliografía sobre la evolución de los sectores industriales<sup>5</sup> divide el ciclo de vida de cualquier sector en cinco fases: la fase embrionaria de introducción, crecimiento, despliegue, madurez y declive. Las fases iniciales están caracterizadas por una elevada incertidumbre y numerosas entradas y salidas de actores del sector. Más tarde, la aparición de un diseño dominante

## De la conducción manual a la plenamente automatizada

Gráfico 3.2 Los seis niveles de automatización de la conducción



Fuente: Centro de Investigación del Automóvil (CAR), basado en SAE de 2016.

solo permite que sobrevivan un número reducido de empresas. Nombres como Sprite, Unito, Wolfe, Angus y Empire no nos suenan de nada porque se trata de algunas de los miles de empresas automovilísticas de la época inicial de la industria del automóvil que fueron expulsadas del mercado hace más de un siglo cuando los primeros automóviles comenzaron a cautivar al mundo.

Hasta hace pocos años, el sector del automóvil se consideraba una industria madura con actores bien establecidos cuyas cuestiones técnicas fundamentales se habían resuelto en la década de 1930.<sup>6</sup> Las innovaciones iniciales fueron fundamentales ya que definieron la estructura básica del automóvil. Ello incluía el desarrollo de motores refrigerados con agua situados en la parte delantera del vehículo, sistemas de ejes de transmisión, perfiles aerodinámicos y una estructura de acero prensado.<sup>7</sup> Las restantes innovaciones en productos y procesos durante los años posteriores a la Segunda Guerra Mundial, y particularmente desde la década de 1970, se debieron a la subida de los precios de los carburantes, las presiones sobre los costos por una creciente competencia internacional y los cambios en la demanda del consumidor.

Con el nuevo milenio el panorama ha cambiado; la creciente potencia de procesamiento de los ordenadores junto con la adopción generalizada de Internet y, en consecuencia, de los teléfonos inteligentes, abrió nuevas y amplias vías a la innovación. Numerosos sectores tradicionales bien establecidos, como la

prensa escrita, la música, la televisión y la distribución al por menor, se han visto sacudidos por los efectos de la disrupción tecnológica impulsada por los avances en el *software* y los soportes físicos de la tecnología de computación. Ello no solo afectó a sus competencias fundamentales, sino también a sus activos complementarios, es decir, aquellos que son necesarios para la comercialización y venta de los productos, así como a sus canales de distribución. Muchos de esos sectores se han visto amenazados y se han reestructurado debido a la nueva era digital. La industria automotriz no ha sido una excepción ante esas olas de cambio, aunque los efectos llegaron con cierto retraso. Por ejemplo, en 2018 el número de vehículos eléctricos a nivel mundial superaba los 5,1 millones<sup>8</sup> lo que significaba casi un 2,1% de cuota de mercado. Es previsible que esta cifra aumente hasta aproximadamente el 30% en 2030.

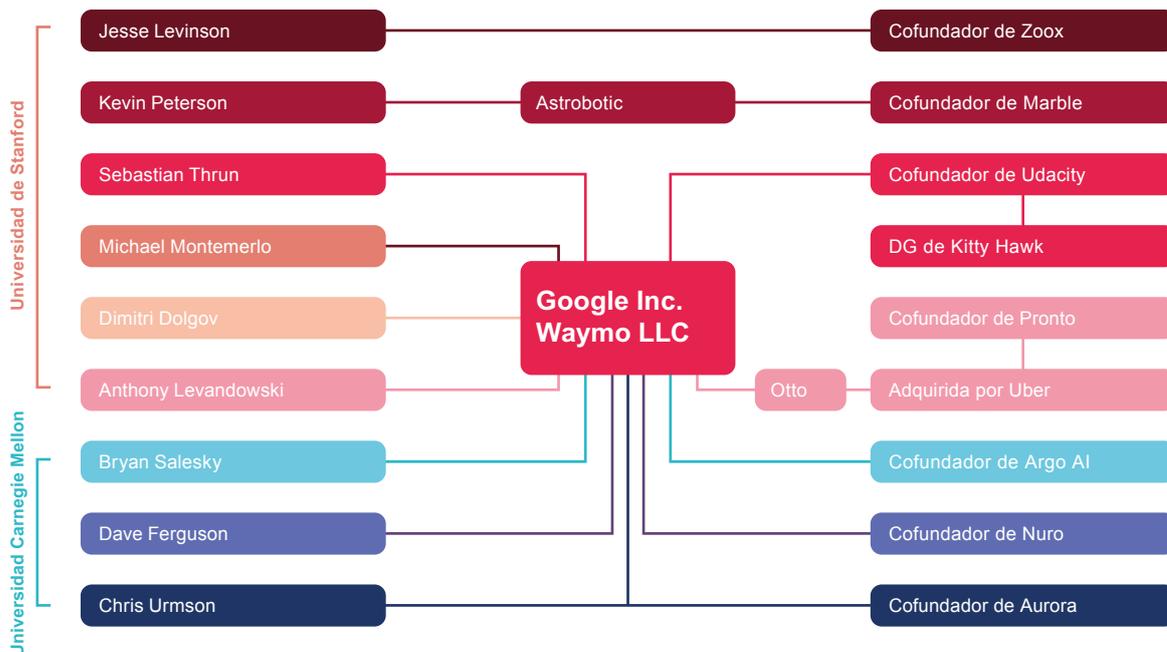
En la bibliografía sobre el ciclo de vida de los sectores industriales se analiza la manera en que, al alcanzar la madurez, se ven afectados por nuevas revoluciones tecnológicas que pueden provocar el inicio de un nuevo ciclo. La materialización del nuevo ciclo dependerá de la existencia de diversas competencias tecnológicas y no tecnológicas. Los participantes en el nuevo ciclo pueden pertenecer al mismo sector o a sectores con los que no competían anteriormente y cuyas capacidades satisfacen los requisitos tecnológicos para participar en el nuevo ciclo.

Las competencias necesarias para el desarrollo de los VA han permitido la entrada en el sector de la automoción a actores del sector de la tecnológica con el objetivo fundamental de crear vehículos plenamente autónomos que no precisan de conductor. Los principales ingredientes para la realización de los VA son la "V" y la "A". Una unidad de VA es, en esencia, un chasis y un motor, a los que se añade inteligencia que aporta el carácter autónomo al elemento físico. La competencia<sup>9</sup> fundamental de los fabricantes de automóviles tradicionales reside en la "V." La capacidad de desarrollo de *software* (por ejemplo, en el ámbito de la inteligencia artificial) y equipos físicos (por ejemplo, los sensores y las cámaras) necesarios para lograr la autonomía, es decir, la "A", forma parte de las competencias fundamentales de las empresas de tecnología.

Las competencias fundamentales de los fabricantes de automóviles tradicionales son la fabricación en serie, la ingeniería mecánica y la capacidad de superar los complejos trámites reglamentarios necesarios

### Científicos protagonistas del “Grand Challenge” y sus empresas derivadas

Gráfico 3.3 Muchos de los actores principales de la actual industria del vehículo autónomo comenzaron su actividad en las competencias organizadas por DARPA



Fuente: universidades de Stanford y Carnegie Mellon.

para poner en circulación un vehículo. Es el resultado de décadas de experiencia y conocimientos tácitos acumulados, algo que no es fácil de reproducir. El dominio de esas competencias no es inmediato ni sencillo.

Las competencias tecnológicas de los nuevos actores residen en la esfera de los equipos físicos y del *software*, especialmente en el campo del aprendizaje profundo y los algoritmos de control en tiempo real necesarios para la autonomía de los vehículos. Son competencias que quedan fuera del abanico de capacidades de la mayoría de los fabricantes de automóviles y de sus proveedores, que tienen escasos conocimientos previos de las mismas.

Las competencias fundamentales de los fabricantes de automóviles resultan más o menos familiares para la mayoría de las personas, pero no ocurre lo mismo con los avances tecnológicos que están transformando la industria. En las secciones siguientes se analizan brevemente tres olas tecnológicas que guardan cierta relación entre sí. Una cuarta ola, la de los vehículos eléctricos, aunque está afectando igualmente a la industria, está fuera del centro de atención y del alcance de este capítulo.

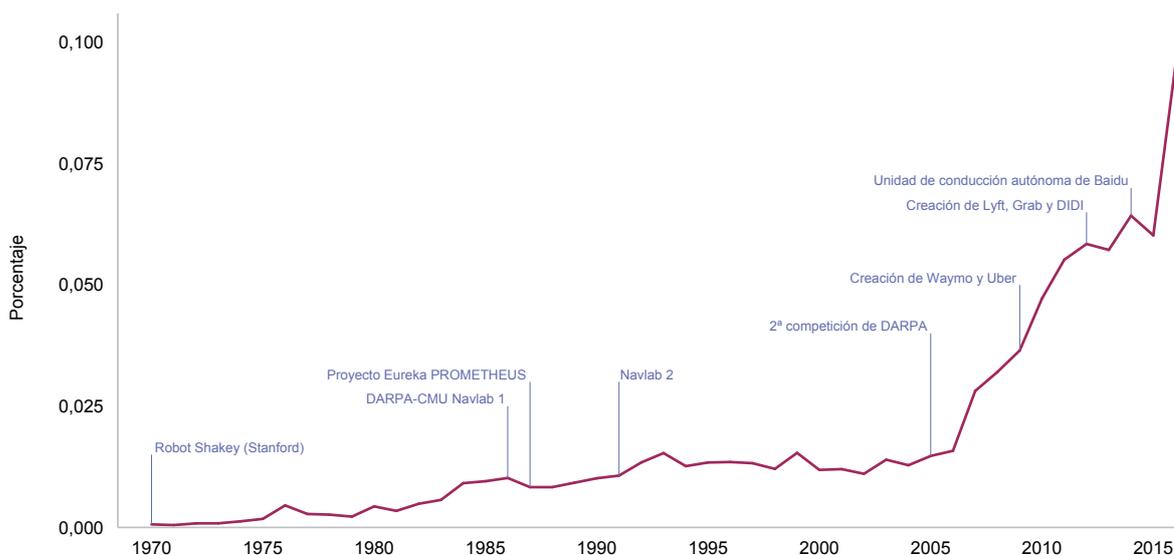
### Vehículos autónomos: científicos impulsores de su auge actual

El Instituto de Tecnología de Massachusetts (MIT) está en el origen de un conjunto de empresas emergentes y empresas de tecnología relacionadas con el VA. El MIT ha sido durante décadas un líder mundial en tecnología robótica y ha contribuido a que numerosas empresas especializadas en tecnología robótica aplicada al VA se establezcan en la zona de Cambridge y Boston. Los graduados del MIT también han creado numerosas empresas derivadas relacionadas con la robótica, algunas de ellas específicamente interesadas en el desarrollo de vehículos autónomos.

En 2007, DARPA organizó una competición sucesora de su “Grand Challenge”, que en esta ocasión consistía en recorrer un trayecto de 60 millas en un entorno urbano con tráfico simulado, y que incluía la interacción con otros vehículos y el cumplimiento de las normas de tráfico. De nuevo las universidades Carnegie Mellon (CMU) y Stanford lideraron la clasificación final, siendo la unidad “Boss” de la CMU la que ocupó la primera posición. En total, seis equipos finalizaron la carrera de 2007, demostrando el rápido desarrollo de la tecnología

## La tecnología ligada al vehículo autónomo ha tenido un desarrollo vertiginoso desde mediados de la década de 2000

Gráfico 3.4 Porcentaje de primeras solicitudes de patente relacionadas con el vehículo autónomo y principales hitos temporales



Fuente: OMPI sobre la base de los datos de PATSTAT y del PCT (véanse las Notas técnicas).

de conducción autónoma en varias universidades. Los gigantes tecnológicos de Silicon Valley, especialmente Google, reclutaron más tarde a muchos de los miembros de los equipos de Stanford y la CMU que habían participado en las carreras organizadas por DARPA (Waymo fue un proyecto de conducción autónoma de Google antes de convertirse en una filial independiente). La mayor parte de los científicos participantes han creado posteriormente sus propias empresas, incluidas nuevas empresas como Aurora, Udacity y Argo AI, todas las cuales están a la vanguardia de la industria del VA (véase el gráfico 3.3).

Las competiciones organizadas por DARPA han sido un hito en la historia de la moderna tecnología ligada al VA. Aunque no existen pruebas de un nexo causal, se observa una tendencia creciente de la actividad innovadora en tecnologías del VA (medida en número de patentes, véase el recuadro 3.1) a mediados de la década de 2000, coincidiendo con las iniciativas de DARPA, con un punto álgido de innovación posterior al año 2010. A pesar de la tendencia ascendente, la tecnología ligada al VA sigue siendo muy especializada y supone apenas el 0,1% del total de las solicitudes de patente presentadas a nivel mundial, incluso en su punto álgido en 2016 (véase el gráfico 3.4).

### Recuadro 3.1 Estrategia para determinar la actividad de patentamiento sobre el vehículo autónomo y sus limitaciones<sup>10</sup>

La industria del VA abarca una combinación de tecnologías aplicadas a un uso específico, la automatización del uso de vehículos terrestres. Por lo tanto, las estrategias de búsqueda para identificar tecnologías y estudios relacionados con el VA son de por sí imprecisas y exigen creatividad y realizar varias iteraciones. Es muy difícil establecer límites precisos al respecto.

A la vista de esas limitaciones, en la elaboración del presente capítulo se han utilizado los códigos de tecnologías de la Clasificación de Patentes Cooperativa (CPC), un sistema internacional para clasificar los documentos de patentes. Se ha recopilado un conjunto de clases de la CPC que corresponden a las tecnologías utilizadas en el VA. Ese conjunto se dividió en dos grupos. El primero incluye un número más reducido de clases especializadas sobre las que es relativamente fácil asegurar su plena pertinencia en el ámbito del VA. El segundo corresponde a clases de naturaleza más amplia, que

abarcan patentes que quizá no sean pertinentes a los efectos del VA. Para este segundo grupo se añadió a la búsqueda una lista de palabras clave. Esas palabras clave son combinaciones de términos como vehículo autónomo, vehículo, taxi, camioneta, etc. Las palabras clave se han utilizado para identificar las patentes pertenecientes a las CPC seleccionadas en cuyo resumen o título figura alguna de esas palabras clave.

Para la búsqueda de publicaciones científicas se ha utilizado la misma lista de palabras clave a fin de identificar aquellas cuyo título o resumen incluye alguna combinación de las mismas. A partir de los conjuntos seleccionados de documentos se recopiló una nueva lista de palabras clave, como por ejemplo, control predictivo de la velocidad. Puesto que las publicaciones sólo pueden englobarse en categorías amplias, sin un nivel de granularidad similar a las CPC, se ha utilizado la clasificación por materias a fin de eliminar artículos que fueran falsos positivos pertenecientes a ámbitos que de manera instintiva se consideran alejados de las tecnologías ligadas al VA, como la microbiología, la zoología, etc.

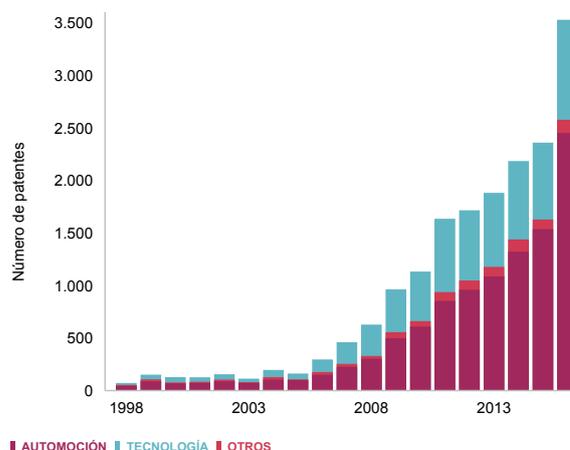
## La movilidad como servicio

De manera simultánea a esos esfuerzos, la movilidad como servicio (MaaS), que integra varios servicios de transporte en un único servicio disponible previa petición, se ha convertido en un concepto popular. En este contexto surgieron empresas como Uber (fundada en 2009) y Lyft (fundada en 2012) en los Estados Unidos de América. Muy pronto, comenzaron a aparecer en todo el mundo otras empresas con modelos empresariales similares: Ola Cabs (fundada en 2010) en la India, Grab (fundada en 2012) en Singapur y DiDi Chuxing (fundada en 2012) en China. Esas empresas proporcionan servicios de transporte privado, uso compartido del automóvil o ambos. Muchas de ellas han ampliado su negocio a otros servicios, entre los que figuran la entrega de productos, la logística y el uso compartido de bicicletas.

El ex director general de Uber, Travis Kalanick, describió el desarrollo de los “robotaxis” (taxis autónomos) como una cuestión “existencial” para la empresa. Si el futuro del automóvil es de los automóviles sin

## El auge de la IA, la robótica y los servicios de movilidad ha sido el principal impulsor del cambio tecnológico habido desde la mitad de la década de 2000

Gráfico 3.5 Desglose por sectores del número de patentes relacionadas con el vehículo autónomo



Fuente: OMPI sobre la base de los datos de PATSTAT y del PCT (véanse las Notas técnicas).

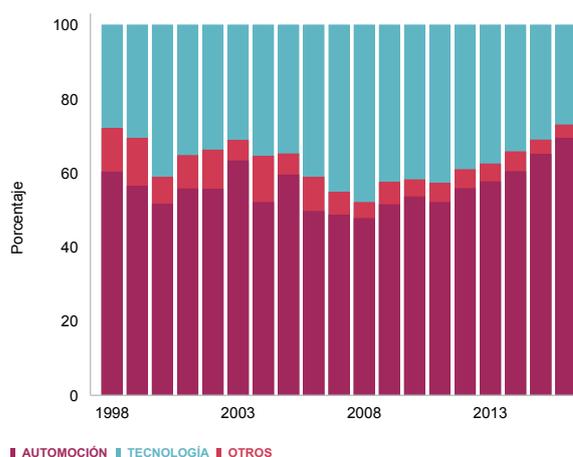
conductor, las empresas dedicadas a la movilidad han de mantener un alto grado de interés en la tecnología ligada a los VA por muchos motivos. En primer lugar, la eliminación del conductor reducirá sus costos.

En segundo lugar, su modelo empresarial tiene el potencial necesario para modificar la economía de la industria automotriz. El modelo empresarial de MaaS puede provocar una reducción del nivel de propiedad privada de vehículos y generar un cambio hacia un sistema más orientado a flotas, en el que el modelo de ingresos se base en las distancias recorridas en lugar del número de vehículos vendidos. La tecnología ligada al VA puede hacer factible un sistema en el que las personas compren el acceso al transporte, en lugar del vehículo en propiedad. Un cálculo aproximado basado en el número de vehículos en circulación y las distancias medias recorridas anualmente, comparadas con lo que las empresas de movilidad cobran por kilómetro, muestra que si todos los vehículos existentes se convirtieran en VA, los fabricantes de automóviles podrían obtener beneficios y ofrecer tarifas muy inferiores a las de las empresas dedicadas a la movilidad.

En tercer lugar, las empresas de movilidad disponen de abundantes datos e información sobre el

**En los años inmediatamente posteriores a 2005, el sector de la tecnología fue responsable de casi la mitad de las patentes relacionadas con el vehículo autónomo**

**Gráfico 3.6 Desglose porcentual por sectores de las patentes relacionadas con el vehículo autónomo**



Fuente: OMPI sobre la base de los datos de PATSTAT y del PCT (Véanse las Notas técnicas).

comportamiento y las preferencias de los clientes, lo que les otorga una importante ventaja en un entorno de ventas cada vez más basado en experiencias personalizadas y específicas.

### Los vehículos conectados

Otra rama de la tecnología relacionada con la conducción autónoma es la “tecnología del vehículo conectado”. Un vehículo puede estar conectado sin ser autónomo, por lo que se trata de dos términos no intercambiables y que no deben confundirse. Las tecnologías ligadas al vehículo conectado permiten a los vehículos comunicarse entre sí y con el entorno. Su propósito es aumentar la eficiencia y la seguridad vial de vehículos y peatones. Algunos casos de usos populares de vehículos conectados son el intercambio de datos relativos a la frenada de los vehículos, los mapas de alta resolución en tiempo real, los peligros existentes en las carreteras, las actualizaciones de información sobre cortes de tráfico, el seguimiento de flotas y el infoentretenimiento. Todos ellos requieren una latencia mínima (el retardo en la ejecución de las órdenes) y una transmisión de datos de la máxima calidad. Por esos motivos, la tecnología de redes

celulares 5G se está convirtiendo en clave para el futuro de los vehículos autónomos y “conectados”.<sup>11</sup> Varias empresas de tecnología, especialmente Huawei, Intel y Ericsson, están explorando este campo.

### 3.3 El cambio tecnológico

El desglose por sectores de la actividad de patentamiento en materia de VA a lo largo del tiempo apoya la idea de que el auge de la IA, la robótica y los servicios de movilidad constituye el principal impulsor del cambio tecnológico. En los años inmediatamente posteriores a 2005, casi la mitad de las patentes parecen proceder del sector de la tecnología.<sup>12</sup> Sin embargo, posteriormente el sector de la automoción tradicional ha vuelto a ser dominante (véanse los gráficos 3.5 y 3.6). No resulta sorprendente que la mayoría de los solicitantes de patentes sean empresas, aproximadamente el 20% sean personas y solo el 10% sean universidades u otras entidades públicas.

Si echamos un rápido vistazo a la lista de los principales solicitantes de patentes<sup>13</sup> en la década de 1990 veremos a fabricantes y empresas de automoción. Las listas de años posteriores reflejan una situación distinta. No se puede considerar que Google, Qualcomm, Mobileye, Uber o Baidu sean actores habituales de la industria automotriz, pero desde mediados de la década de 2010 se encuentran entre los 100 principales solicitantes de patentes relacionadas con el VA. Esos 100 solicitantes principales, liderados por nombres como Ford (357 patentes), Toyota (320) y Bosch (277) han generado alrededor de la mitad de las patentes. En esta lista de los principales solicitantes de patentes se encuentran empresas que no son fabricantes de automóviles. Google y su filial para el VA Waymo ocupan la octava posición, con 156 patentes, por delante de fabricantes de automóviles tradicionales como Nissan, BMW y Hyundai. Tras ellos se encuentran empresas como Uber y Delphi, con 62 patentes relacionadas con el VA cada una y que aparecen clasificadas en el puesto 31.

### 3.4 Competencia y colaboración en el ámbito del vehículo autónomo

Hasta aquí se ha constatado que el sector del automóvil se encuentra en los inicios de una época de disrupción tecnológica en la que convergen nuevos participantes procedentes de la industria automotriz

y de la tecnología. Hasta ahora no se han analizado en profundidad las cuestiones relativas a la normalización y la regulación y no existe un consenso sobre definiciones y terminología básicas. La tecnología ligada al VA es extremadamente costosa en términos de capital y tiempo. Así pues, los incentivos para que los diversos interesados colaboren entre sí y compartan riesgos y costos son considerables. Pero, ¿quién colabora con quién y por qué? En teoría, pueden existir tres tipos de colaboraciones: entre fabricantes de automóviles tradicionales, entre empresas de tecnología y entre fabricantes de automóviles y empresas de tecnología.

### Colaboración entre empresas de automoción

Ante la revolución tecnológica que supone el VA, las empresas de automoción tienen incentivos para unir fuerzas a fin de compartir los costos y los riesgos pero también para defender su posición en el mercado, que se ve amenazada por terceros. La amenaza común a la que hacen frente es la “mercantilización” de sus competencias fundamentales, es decir, el riesgo de convertirse simplemente en suministradores de un producto básico, en este caso un vehículo. Las empresas de tecnología generarían el valor añadido y, por lo tanto, obtendrían los mayores beneficios. Los fabricantes de automóviles Daimler y BMW, que operan a escala mundial, han anunciado una nueva alianza a largo plazo para desarrollar conjuntamente tecnologías para la conducción automatizada.

Este esfuerzo conjunto comprende 1.200 ingenieros de ambas empresas. Los ingenieros estarán ubicados en las instalaciones para la conducción autónoma de BMW, situadas en Unterschleissheim, cerca de Múnich, en el centro tecnológico que tiene Mercedes en Sindelfingen, cerca de Stuttgart, y en el centro de pruebas y tecnología de Daimler, radicado en el sur de Alemania. Las dos empresas tienen el objetivo de lanzar su próxima generación de vehículos autónomos de pasajeros en 2024.<sup>14</sup> Audi, otro fabricante de automóviles alemán, ha anunciado su intención de unirse a ellos.<sup>15</sup>

Aunque haya quien pueda sorprenderse de la asociación entre quienes durante tanto tiempo han sido rivales, no es algo extraño en el contexto del desarrollo del VA. El enorme costo del diseño y la construcción de vehículos dotados de potentes sistemas informáticos

han motivado que Honda y General Motors aúnen sus esfuerzos, mientras que Volkswagen está en conversaciones con Ford sobre una alianza en materia de vehículos autónomos.

### Colaboración entre empresas de tecnología

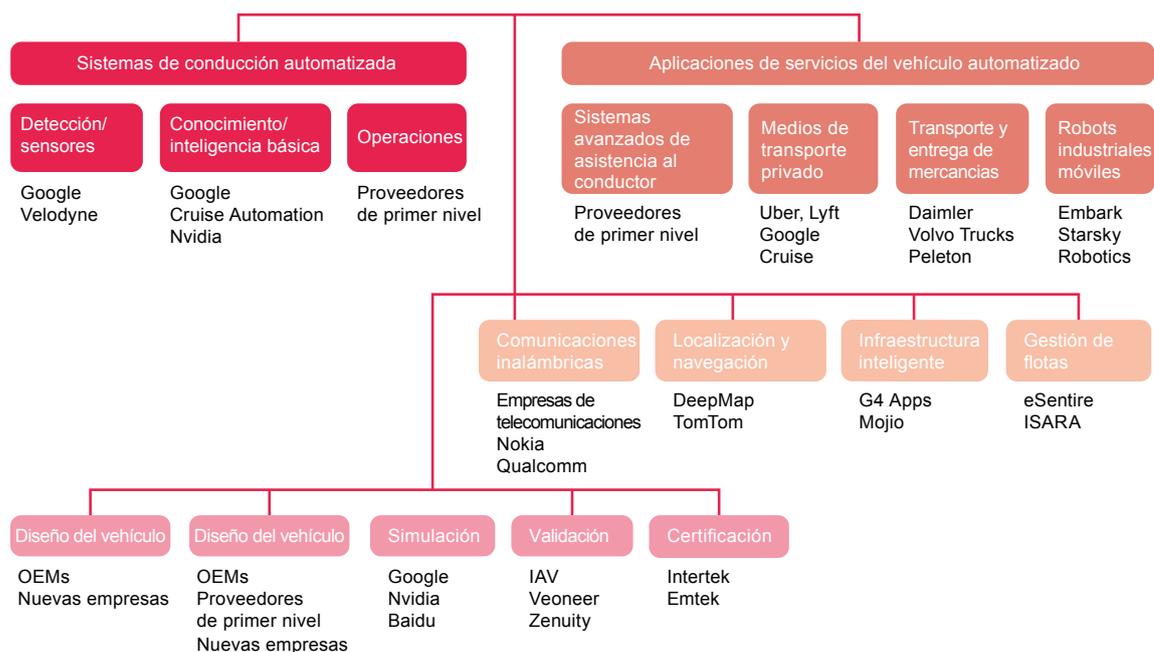
Las empresas de tecnología también necesitan colaborar entre sí a fin de compartir los altos riesgos y costos de la tecnología. La mayoría de las empresas de tecnología, especialmente las pequeñas empresas emergentes, están especializadas, entre otras, en áreas como equipos físicos, *software*, servicios de movilidad, conectividad y comunicaciones (véase el gráfico 3.7). A excepción de Waymo, que desarrolla internamente toda su pila de componentes de *software* y equipos físicos<sup>16</sup>, ninguna otra empresa de tecnología tiene los conocimientos necesarios en todos esos ámbitos. En consecuencia, es habitual la colaboración entre empresas de tecnología. La empresa VIA Technologies Inc., con sede en Taiwán, anunció en 2018 su alianza con la empresa emergente Lucid, especializada en IA, a fin de desarrollar sistemas de detección basados en el aprendizaje profundo mediante IA integrados en dispositivos con cámaras dobles o múltiples para su uso en los campos de la seguridad, el comercio al por menor, la robótica y los vehículos autónomos.<sup>17</sup> Este es solo un ejemplo de una larga lista de colaboraciones entre empresas de tecnología.

Algunas empresas de tecnología han decidido ofrecer acceso abierto, libre de costos o de otras barreras, a sus datos y tecnologías celosamente guardados. Por ejemplo, Waymo ha decidido vender uno de sus tres sensores LIDAR denominado Laser Bear Honeycomb, que utiliza un láser para medir distancias, a terceros interesados en el uso de esa tecnología con fines distintos al vehículo autónomo. Algunos creen que la curva del desarrollo de los sensores LIDAR es similar a la Ley de Moore utilizada en el ámbito de los circuitos integrados, según la cual cada 18 meses se duplica la resolución del dispositivo y su precio se reduce a la mitad<sup>18</sup>, por lo que brindar acceso libre es una oportunidad de crecimiento que va acompañada de una reducción de costos.

Waymo ha puesto a disposición de investigadores de forma gratuita algunos de los datos recopilados por los sensores de alta resolución de su flota de vehículos autónomos. No es la primera empresa que ofrece gratuitamente un conjunto de datos. En marzo

## Representación esquemática de la participación de empresas del ámbito del vehículo autónomo

Gráfico 3.7 Ejemplos de empresas que trabajan en diversas tecnologías ligadas al vehículo autónomo



Fuente: Centro de Investigaciones del Automóvil (CAR).

de 2019, la empresa tecnológica global Aptiv fue uno de los primeros grandes operadores del VA en poner a disposición pública un conjunto de datos procedentes de sus sensores. Uber y Cruise, la división de conducción autónoma de General Motors, han tomado la misma medida con sus herramientas de visualización para el VA.<sup>19</sup>

Estas decisiones son coherentes con las estrategias de “innovación abierta”<sup>20</sup> que adoptan las empresas en respuesta a conceptos innovadores altamente complejos.

### Colaboración entre empresas de tecnología y de automoción

La tecnología ligada al VA no está dejando completamente obsoletos los conocimientos básicos propios de los fabricantes de automóviles. De hecho, y al menos por ahora, el VA es un tipo de discontinuidad tecnológica que precisa de las competencias fundamentales de los actores tradicionales para lograr sus metas. La labor de investigación evidencia<sup>21</sup> que históricamente,

los actores tradicionales pueden sobrevivir a una discontinuidad si colaboran con los nuevos actores que desafían sus conocimientos básicos. En presencia de “condiciones de apropiabilidad” favorables, los nuevos actores tienen el incentivo de conceder licencias de su tecnología. En las publicaciones sobre este tema<sup>22</sup> se entiende por condiciones de apropiabilidad favorables aquellos factores del entorno, como la existencia de protección jurídica (por ejemplo, patentes) o la dificultad de codificar o transferir (de manera tácita) los conocimientos necesarios, que permiten recuperar su inversión a la empresa de tecnología.

La tecnología ligada al VA tiene características de apropiabilidad favorables. Ello permite a los nuevos actores colaborar con los operadores tradicionales al tiempo que se garantiza la obtención de beneficios sin miedo a imitaciones.<sup>23</sup> Mediante la asociación con empresas de tecnología, los fabricantes de automóviles adquieren una mejor comprensión de las tecnologías clave que están transformando la industria y aceleran el proceso de aprendizaje a fin de seguir siendo competitivas en un entorno que evoluciona a gran velocidad.

Aunque parece lógico que las empresas de automoción colaboren con las empresas de tecnología, la cuestión no es tan evidente en sentido inverso. En opinión de algunos, los gigantes tecnológicos no necesitan a las empresas de automoción y pueden entrar directamente en el sector de la automoción, cosa que posiblemente hagan.<sup>24</sup> Sus argumentos se basan en los costos. Dado que los gigantes de las tecnologías de la información como Alphabet, Amazon y Apple en los Estados Unidos de América y Alibaba, Baidu y Tencent en China tienen abundantes recursos económicos, podrían asumir fácilmente los costos del diseño y fabricación de un automóvil. No obstante, existen opiniones divergentes al respecto.<sup>25</sup> Alcanzar la excelencia en procesos complejos de fabricación en serie, organizar cadenas de valor de calidad o gestionar cuestiones reglamentarias complejas no es algo trivial ni insignificante. Las pérdidas económicas de la empresa Tesla, activa en los sectores de la automoción y la energía en los Estados Unidos de América, y sus esfuerzos para mantener los plazos de entrega de su sedán eléctrico Model 3 así lo atestiguan. Los fabricantes de automóviles tienen su fortaleza en el ecosistema en el que operan y realizan actividades de cabildeo. Aunque las empresas de tecnología tuvieran la capacidad tecnológica para producir vehículos, tendrían dificultades para desafiar al actual entorno socioeconómico, salvo que colaboraran con los fabricantes de automóviles tradicionales.

Por lo tanto, las empresas de tecnología también tienen incentivos para colaborar y comprobar en qué esferas complementan sus recursos a los de los fabricantes de automóviles. Esta división del trabajo permite, al menos en la fase en que se halla actualmente la industria, que cada parte se centre en lo que mejor sabe hacer, siendo este el camino más directo y seguro al éxito del VA.

Los tipos de colaboración descritos no son mutuamente excluyentes y coexisten. La elevada incertidumbre existente hace que las empresas identifiquen varias combinaciones de las tres opciones que tienen: “construir”, “alquilar” y “comprar”.<sup>26</sup>

No está claro que las colaboraciones arriba indicadas se detecten fácilmente mediante los datos de patentes o de comunicaciones científicas. El principal motivo es que, en su mayoría, se trata de asociaciones y alianzas formales, empresas conjuntas, inversiones o adquisiciones. De las más de cien colaboraciones formales identificadas<sup>27</sup> el mayor número corresponde a alianzas entre empresas de automoción y empresas

de tecnología, seguido de las alianzas entre empresas de tecnología y entre empresas de automoción. Por último, una pequeña proporción de las colaboraciones se realiza entre empresas de tecnología y entidades gubernamentales nacionales o regionales. Por ejemplo, la empresa Quadrobot, con sede en Detroit, y el Servicio Postal de China tienen una alianza para la producción de camionetas de reparto autónomas.

### 3.5 Papel de la geografía en la tecnología ligada al vehículo autónomo

#### Difusión a lo largo del tiempo

Hasta hace pocos años, nadie habría asociado lugares como Boston, San Francisco y Pittsburg, Singapur o Jerusalén, a la industria automotriz. Los nombres más comunes eran Detroit, Toyota City en el Japón y Stuttgart en Alemania. Sin embargo, los avances en robótica e IA como tecnologías de uso general<sup>28</sup> con múltiples aplicaciones en diversos campos han ofrecido nuevas oportunidades a nuevos actores. Naturalmente, esos nuevos actores están localizados en los principales núcleos tecnológicos, como Silicon Valley en los Estados Unidos de América y otros en todo el mundo. Sin embargo, lugares como Singapur o Jerusalén, sin antecedentes en el sector del automóvil, pero con entornos en expansión y vibrantes para la tecnología y la creación de empresas, han pasado a ser muy activos en la tecnología ligada al VA.

Una revisión histórica de la actividad innovadora en relación con el VA pone de manifiesto su evolución geográfica y su distribución mundial. En el gráfico 3.8 se indican las regiones que participan en la actividad de patentamiento<sup>29</sup> y la publicación de artículos científicos sobre tecnologías ligadas al VA antes y después de 2005. No es sorprendente que en las fases iniciales, las regiones que tradicionalmente lideraron el mercado de automóviles también tuvieran una elevada actividad de patentamiento. Pero incluso entonces, existía una significativa actividad de patentamiento en Silicon Valley y Singapur. En ese periodo inicial, la prioridad aún se centraba en ámbitos como las tecnologías para sistemas avanzados de asistencia al conductor (ADAS) y los sistemas de autopistas automatizadas (AHS), tecnologías que no están directamente relacionadas con la IA y la robótica. Estas patentes estaban más relacionadas con el funcionamiento del automóvil

tradicional y principalmente con los niveles 1 o 2 de automatización de la conducción (véase el gráfico 3.2).

En los últimos años se ha observado que algunos países en desarrollo que no son fabricantes de automóviles tradicionales también están participando en el desarrollo de esa tecnología. El cambio más destacable ha ocurrido en China y la India. Tal como se ha analizado anteriormente, la naturaleza evolutiva de la tecnología puede ser una de las explicaciones de esa expansión. Estas nuevas tecnologías (IA y robótica) permiten que países y regiones que no han tenido vínculos duraderos con el sector de la fabricación de automóviles logren avances muy importantes.<sup>30</sup> A pesar de ello, los países que tienen una mayor participación en ese ámbito siguen siendo los Estados Unidos de América, el Japón, Alemania, la República de Corea y Suecia, y los Estados Unidos de América y China son los más activos últimamente.

Cuando se analizan las publicaciones científicas, se observa que hay países en desarrollo en Oriente Medio, América Latina y África (que no aparecen en los datos sobre la actividad de patentamiento) que son muy activos en la investigación básica y en la publicación de artículos científicos. Irán es un ejemplo de país muy activo en publicaciones científicas, pero sin apenas patentes en esta esfera. Para obtener una imagen más fiel del panorama de la innovación en tecnologías ligadas al VA, los datos relativos a publicaciones científicas complementan a los de las patentes.

### 3.6 Innovación, países y ciudades relacionados con el vehículo autónomo

#### América del Norte

##### Boston, Massachusetts

Boston no es un polo tradicional de la industria automotriz. Sin embargo, el Instituto de Tecnología de Massachusetts (MIT) ha sido líder mundial en tecnología robótica durante décadas y ha contribuido a la concentración de empresas especializadas en tecnología robótica relacionada con el VA. Una empresa importante que ha aprovechado la existencia del polo especializado en robótica en Boston para el desarrollo del VA es el Instituto de Investigación de Toyota (TRI), que ubicó una de sus tres sedes en Cambridge (las

otras dos se encuentran en Michigan y California). El TRI patrocina el Laboratorio de Ciencias de la Computación e Inteligencia Artificial del MIT (CSAIL), en el que los investigadores estudian diversos aspectos de la IA y el aprendizaje automático aplicados a la automatización de vehículos.<sup>31</sup>

El MIT ha generado varias empresas derivadas del campo de la robótica, incluidas algunas específicamente interesadas en el desarrollo del vehículo autónomo. Una de ellas, nuTonomy, fue adquirida en 2017 por Aptiv, un proveedor de primer nivel de la industria automotriz a escala mundial<sup>32</sup> vinculado históricamente a Detroit y General Motors.<sup>33</sup> Aptiv tiene un centro tecnológico en Boston, junto a otros centros en Pittsburgh y California.<sup>34</sup> nuTonomy realiza ensayos en Boston y Singapur, donde la entidad estatal Economic Development Board ha adquirido una participación en la empresa.<sup>35</sup> Otra nueva empresa surgida del MIT, Optimus Ride, se ha asociado con varias empresas de Silicon Valley y del sector del automóvil a fin de desarrollar vehículos de transporte autónomos de baja velocidad para su uso en rutas geovalladas delimitadas virtualmente.<sup>36</sup>

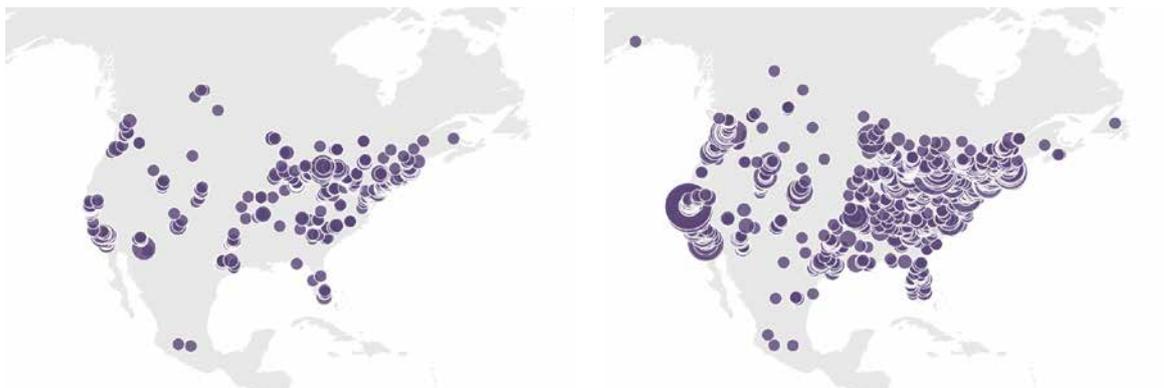
##### Detroit, Michigan

Detroit es el centro histórico de la industria automotriz de América del Norte. General Motors y Ford mantienen sedes principales y numerosos centros de investigación en el área metropolitana de Detroit, al igual que otros fabricantes de automóviles internacionales (Fiat Chrysler Automobiles (FCA), Hyundai/Kia y Toyota) y docenas de importantes proveedores del sector del automóvil. Casi todos los fabricantes de automóviles del mercado de América del Norte tienen alguna presencia en el área de Detroit.

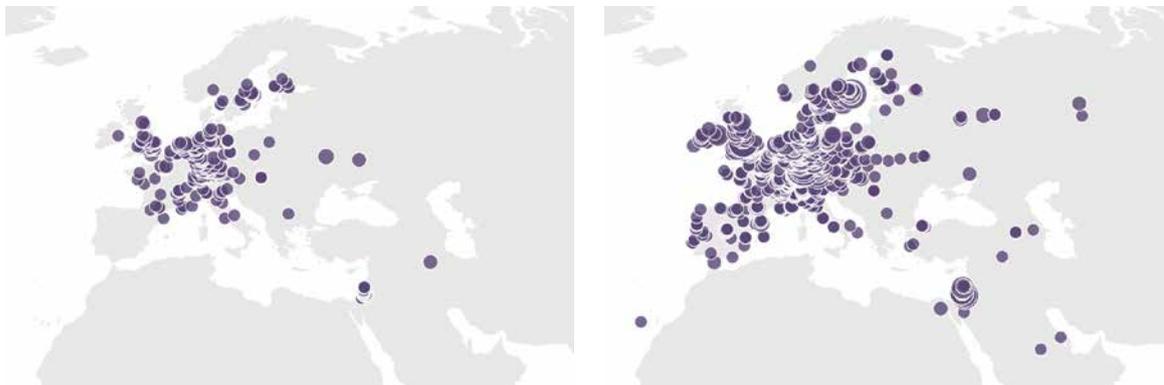
Michigan no es un lugar con tradición en el campo de la robótica. No obstante, es una de las principales zonas del mundo en investigación, desarrollo, diseño y fabricación de sistemas de automoción avanzados. Al igual que las empresas con sede en Detroit han abierto oficinas regionales en núcleos especializados en robótica, como Pittsburgh, Boston y Silicon Valley, las nuevas empresas interesadas en el VA han abierto sedes cerca de Detroit para aprovechar la experiencia local en ingeniería y validación de sistemas robustos con la calidad que exige el sector del automóvil. La prioridad dada por esa tecnología a la automoción atrae cada vez más inversiones en instalaciones para

### Asia Oriental ha desplegado una gran actividad en la tecnología ligada al vehículo autónomo durante los últimos años

Gráfico 3.8 Distribución geográfica de las patentes (esta página) y las publicaciones (página siguiente) relacionadas con el VA en algunas regiones antes de 2005 (izquierda) y después de 2005 (derecha)  
América del Norte



Europa y Oriente Medio



Asia Oriental



■ PATENTES ■ PUBLICACIONES CIENTÍFICAS

Fuente: OMPI sobre la base de los datos de PATSTAT, el PCT y *Web of Science* (véanse las Notas técnicas).

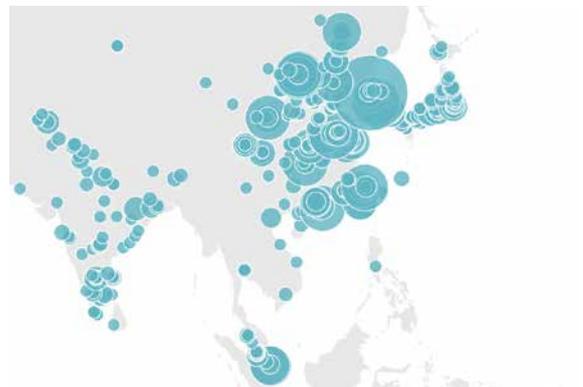
América del Norte



Europa y Oriente Medio



Asia Oriental



el desarrollo de *software* en el área de Detroit, incluidas importantes inversiones de Ford, GM y Toyota.

Waymo, posiblemente la empresa más avanzada de creación de vehículos autónomos en el sector, tiene previsto rehabilitar una instalación histórica en Detroit para equipar vehículos con su tecnología de automoción patentada.<sup>37</sup> Waymo está asociada con Magna International – un proveedor de primer nivel de la industria automotriz con sede en Aurora (Canadá) con numerosas instalaciones en el área de Detroit.<sup>38</sup> Antes de su alianza con Magna, Waymo estableció acuerdos con otra importante empresa de ingeniería del área de Detroit, Roush.<sup>39</sup> Por su parte, Roush ha incrementado su actividad en ingeniería del vehículo automatizado y ha abierto un nuevo centro de investigación dedicado al *software* y la integración de sistemas para el VA.<sup>40</sup>

### Ontario (Canadá)

El interés en los sistemas de vehículos automatizados ha generado una atención adicional sobre los centros de desarrollo de *software* e inteligencia artificial. Un polo de investigación que se ha beneficiado de ello es la provincia canadiense de Ontario, donde se encuentran Toronto, Waterloo y Ottawa.

Ontario es un polo establecido de la industria automotriz, debido principalmente a su cercanía a Detroit. Ontario tiene asimismo una gran fortaleza en el sector del *software*. Por ejemplo, la Universidad de Waterloo tiene programas muy destacados en matemáticas y computación. El Centro de Investigación sobre Automoción de Waterloo (WatCAR) tiene varios grupos de investigación sobre tecnología avanzada para vehículos y movilidad.<sup>41</sup> La Universidad de Toronto también tiene programas sobre automatización de vehículos, conectividad y ciberseguridad.<sup>42</sup>

### Pittsburgh (Pennsylvania)

La Universidad Carnegie Mellon (CMU) de Pittsburgh ha sido durante décadas un centro de la tecnología para la conducción autónoma. Investigadores de la CMU probaron el primer prototipo de sistema de automatización de la conducción de manos libres en carretera en 1986, el proyecto Navlab 1,<sup>43</sup> al que siguió el Navlab 2 en 1990. Los equipos de la CMU también estuvieron entre los más exitosos en las competiciones

organizadas por DARPA (los “grand challenges”) que contribuyeron al comienzo de la actual era de investigación sobre el VA.<sup>44</sup> En cierta medida, el programa de robótica de la CMU ha sido víctima de su éxito, ya que docenas de investigadores experimentados han sido contratados por las nuevas empresas con intereses en el VA. El caso más destacado es el de Uber, que inicialmente estableció una alianza estratégica con la CMU y abrió un centro de investigación en sus proximidades. Posteriormente, sin embargo, contrató a más de 50 investigadores de la Universidad.<sup>45</sup>

La CMU también ha sido el semillero de algunas nuevas empresas en el campo del VA, como Argo AI, de la que Ford ha adquirido una participación y que ha anunciado la puesta en marcha de un servicio de taxi robotizado en 2021.<sup>46</sup> La empresa nuTonomy, con sede en Boston, que actualmente es propiedad del proveedor de primer nivel de la industria automotriz Aptiv, tiene instalaciones en Pittsburgh y está en fase de expansión. Muchos alumnos de robótica de la CMU se han dispersado en la diáspora que ha afectado al mundo ligado al VA, incluidos algunos de los nombres más importantes del sector, como se ha expuesto anteriormente en este capítulo. El Instituto de Robótica de la CMU sigue activo en la esfera de la automatización de la conducción, aunque con menos intensidad que en décadas anteriores.<sup>47</sup> Sin embargo, Pittsburgh se ha convertido en una de las ciudades más populares del mundo para la realización de pruebas en vías de circulación y el desarrollo de prototipos de vehículos autónomos.<sup>48</sup>

### Silicon Valley (California)

Actualmente se tiene la impresión de que Silicon Valley (la zona en torno a San Francisco, California) hubiera sido siempre el centro de la industria del VA. Sin embargo, todo comenzó cuando, tras las competiciones organizadas por DARPA, Google (actualmente Waymo) se interesó por los vehículos autónomos utilizados en vías públicas. En 2009 Google comenzó a contratar a participantes en los concursos, incluido el jefe de equipo de la CMU, Chris Urmson, que se convirtió en director general de tecnología del proyecto. Otros investigadores fueron contratados localmente. Por su parte, la Universidad de Stanford había creado un programa de investigación sobre robótica y conducción automatizada del mismo nivel que la CMU y sin parangón en el mundo.

Google anunció su proyecto de conducción autónoma en 2010 con un video impactante que mostraba a un hombre ciego dirigiéndose con un automóvil autónomo a un restaurante Taco Bell. El video no mostraba el grado de preparación necesario para llevar a cabo la demostración, pero reflejaba una capacidad de automatización de la conducción que sorprendió al sector del automóvil e hizo que empresas sólidamente establecidas y empresas de nueva creación decidieran entrar en el mundo de la conducción autónoma y ponerse al día en la materia.

El proyecto de conducción autónoma de Google, conjuntamente con los grupos ya existentes de ingenieros especialistas en IA y *software*, convirtieron a Silicon Valley en un líder mundial en el desarrollo del VA.

Resulta difícil enumerar todas las empresas de Silicon Valley que trabajan en la conducción automatizada. No obstante, a principios de 2019, 62 entidades habían recibido un permiso del Departamento de Vehículos a Motor de California para realizar pruebas de prototipos de ADS en vías públicas del estado.<sup>49</sup>

## China

Las tres olas de disrupción tecnológica previamente analizadas (el vehículo autónomo (VA), la movilidad como servicio (MaaS) y los vehículos conectados) han creado una ventana de oportunidad para las empresas del sector de la automoción de China, que no presentan desventajas históricas frente a las multinacionales extranjeras.<sup>50</sup> No obstante, incluso en China los gigantes tecnológicos locales han tomado ventaja al sector de la automoción. Los gigantes tecnológicos chinos, como la empresa de búsquedas en internet Baidu, la empresa de comercio electrónico Alibaba y empresas de medios de transporte privado como Didi Chuxing, Dida y Ucar se encuentra aproximadamente a la par que sus homólogos extranjeros. Con respecto a la conectividad, el sistema CarLife de Baidu que permite controlar el sistema de infoentretenimiento del vehículo mediante el teléfono móvil, está en funcionamiento desde 2015. La tecnología del asistente de voz de Baidu se denomina DuerOS. Alibaba también ha desarrollado un sistema de control integrado, AliOS, y un asistente inteligente llamado Tmall Genie. Tencent, otro gigante tecnológico, tiene su propio sistema denominado “AI in Car.”

Además, el Plan de Desarrollo de Inteligencia Artificial de Próxima Generación<sup>51</sup> del gobierno, anunciado en 2017, muestra la determinación de China de ser un líder mundial en inteligencia artificial, incluida la tecnología de conducción autónoma. China también realiza importantes inversiones en infraestructura y construcción de carreteras y calles compatibles con los vehículos conectados y autónomos. El E-Town<sup>52</sup> de Beijing comprende 44 carreteras (123 km en total) para pruebas del VA. Además de las amplias campañas de pruebas realizadas en Beijing, también se realizan numerosas pruebas en otras 15 ciudades en China, incluidas Shanghái, Shenzhen y Guangzhou en la provincia de Guangdong, Hangzhou en la provincia de Zhejiang, Wuhan en la provincia de Hubei y Chongqing.<sup>53</sup>

Baidu, Pony.ai y WeRide son los líderes en tecnología de conducción autónoma en China.<sup>54</sup> Sin embargo, incluso Baidu no está considerada una de las diez principales empresas a nivel mundial. En California los vehículos de prueba de Baidu requieren la intervención humana cada 41 millas conducidas en comparación con las 5.569 millas de los vehículos de Waymo.<sup>55</sup> No obstante, la Plataforma Apollo de Baidu para el vehículo automatizado ha conseguido atraer a más de 100 asociados de todo el mundo. Apollo tiene un sistema de simulación del VA, datos de prueba de vehículos y mapas de alta definición.<sup>56</sup> Tanto CarLife como DuerOS se han incorporado a Apollo. Además, Baidu se ha comprometido a desplegar taxis utilizando vehículos autónomos en zonas geovalladas delimitadas virtualmente en Changsha, provincia de Hunan, en 2019.<sup>57</sup> Baidu está captando la mayor parte de la inversión y la atención sobre la conducción autónoma en el mercado chino. Sin embargo, las autoridades de Beijing, que han comenzado a exigir notificaciones previas para la realización de pruebas de vehículos automatizados en las calles de la ciudad, han recibido notificaciones de otras siete empresas además de Baidu.<sup>58</sup> Muchas empresas de China también tienen instalaciones de investigación en Silicon Valley, entre ellas Baidu.<sup>59</sup> Las empresas chinas, entre ellas Baidu, NIO, Tencent, Alibaba, FAW, SAIC, ChangAn, BAIC, Great Wall, GAC, Dongfeng, Geely, BYD y Lifan, han comenzado las pruebas de sus vehículos en China. Waymo también ha abierto una filial en Shanghái, aunque en sus documentos de constitución informa de que la filial se centrará en la consultoría sobre la logística, la cadena de suministro y el diseño de componentes y productos para el VA, pero no en el VA.<sup>60</sup>

## Japón

Las actividades sobre el VA en el Japón comenzaron lentamente debido a una legislación particularmente restrictiva en materia de conducción autónoma. No obstante, conforme se aproxima la fecha de los Juegos Olímpicos de 2020, ha habido un auge en la industria del VA a fin de hacer gala de la tecnología puntera del país. El Japón ha aprobado una nueva legislación que suaviza las restricciones sobre los vehículos autónomos y prevé utilizar medios de transporte de conducción autónoma de Toyota en los Juegos de 2020 para el traslado de los participantes alojados en la villa olímpica. Evidentemente, Toyota se ha convertido en una parte muy importante de las iniciativas sobre tecnología ligada al VA en el Japón, aunque las actividades de Toyota y de otras empresas japonesas van mucho más allá del impulso asociado a la celebración de los Juegos Olímpicos.

En el Japón, Toyota se ha asociado con la firma japonesa de inversiones en tecnologías Softbank, conocida principalmente por su fondo Vision Fund de 100.000 millones de dólares de los EE. UU. dedicado a la adquisición de participaciones en empresas de tecnología de rápido crecimiento, a fin de crear una empresa conjunta, MONET, que se centrará en el desarrollo de tecnología para la conducción autónoma y soluciones MaaS en Tokio. Además, los fabricantes de vehículos japoneses Honda e Hino también han invertido en MONET. Waymo se ha asociado a la alianza francojaponesa de Renault y Nissan para prestar servicios de movilidad basados en el VA en Francia y el Japón. Asimismo, ZMP, una empresa japonesa del VA y Hinomaru Kotsu, una empresa japonesa de taxis, se han asociado para desarrollar un taxi autónomo que esperan tener listo para los Juegos Olímpicos de 2020. No obstante, en el entorno japonés del VA no sólo hay empresas privadas. La Universidad de Tokio y la Universidad de Keo han puesto en marcha proyectos de movilidad inteligente/avanzada para el desarrollo de la tecnología del VA.

A nivel internacional, el principal actor es de nuevo Toyota. En este contexto internacional, Toyota se ha asociado con numerosas empresas y ha realizado inversiones a fin de impulsar avances en la esfera del VA, entre otras con Uber, May Mobility, Hui, Grab, Getaround, Nvidia y AT&T. Además, también a nivel internacional, Softbank ha invertido 2.250 millones de dólares de los EE. UU. en Cruise Automation de GM, una empresa de taxis robotizados, y ha participado en

la financiación de 1.000 millones de dólares de los EE. UU. para la división del AV de Uber. La empresa china Sense Time es una de las nuevas empresas dedicadas a la IA más valoradas del mundo y ha abierto una instalación para la conducción autónoma en Joso, a las afueras de Tokio.

## Reino Unido

El Reino Unido es un centro de talento en materia de automoción e ingeniería sólidamente establecido. El gobierno ha mostrado un interés especial en el vehículo autónomo y ha adoptado medidas para aprovechar las capacidades existentes a fin de seguir contribuyendo de manera importante a la naciente industria del VA. Por ejemplo, el proyecto U.K. Automotive ha financiado ensayos de prototipos de vehículos automatizados de varios fabricantes.<sup>61</sup> El consorcio UK CITE es un grupo impulsado por la industria y centrado en la tecnología del vehículo conectado pero con interés en la automatización.<sup>62</sup> El Reino Unido también ha publicado un documento con recomendaciones sobre los ensayos de tecnologías de conducción automatizada realizados en vías públicas.<sup>63</sup>

El Reino Unido también se ha beneficiado de programas de investigación financiados por la UE, como el proyecto EU GATEway. Ese proyecto financió la creación de Oxbotica, una empresa con sede en el Reino Unido derivada de las actividades realizadas en la Universidad de Oxford para el desarrollo de un vehículo de transporte autónomo de baja velocidad utilizable en vías de circulación de uso mixto.<sup>64</sup> Otro proyecto del Reino Unido, desarrollado por el grupo británico RDM, un proveedor de la industria automotriz, ha apoyado el desarrollo de un sistema de transporte automatizado que funciona sobre vías de circulación guiadas construidas al efecto (*podcar* automatizado).<sup>65</sup> Ese proyecto ha impulsado la creación de una empresa independiente derivada de RDM, Aurrigo, que actualmente tiene instalaciones en los Estados Unidos de América, Canadá y Australia.<sup>66</sup>

Cambridge es un centro mundial en innovación sobre la IA, una actividad que data de 1936 cuando Alan Turing inventó la “máquina de computación universal” en el Kings College.<sup>67</sup> Cambridge también es la sede principal de ARM, un líder mundial de procesadores de altas prestaciones que se ha mostrado interesado en la conducción automatizada.<sup>68</sup>

Otras universidades del Reino Unido han realizado importantes inversiones para el desarrollo de polos especializados sobre el VA. Las universidades de Warwick y Birmingham, entre otras, contribuyen a mantener polos de apoyo al talento en IA. La Universidad de Oxford tiene un programa sobre robótica excepcionalmente sólido que, como se ha mencionado anteriormente, ha dado lugar al nacimiento de Oxbotica.

### Francia

El sector del automóvil de Francia está trabajando para mantener su participación en el desarrollo del vehículo automatizado de próxima generación. Renault se ha comprometido a que la funcionalidad “sin ojos/sin manos” se incluya en vehículos en producción a partir de 2021.<sup>69</sup> El Grupo PSA (cuyas marcas son Peugeot, Citroën y DS) tiene en marcha el programa Vehículo Autónomo para Todos (AVA).<sup>70</sup> PSA está realizando ensayos de la tecnología del VA en carreteras de Europa y China.<sup>71</sup> El proveedor de primer nivel de la industria automotriz a escala mundial Valeo también está realizando grandes inversiones en el campo de la automatización de la conducción.<sup>72</sup> Valeo está construyendo un centro de investigación sobre IA en París y ha forjado numerosas alianzas para la investigación. Estas iniciativas están enmarcadas en un esfuerzo nacional destinado a que Francia sea un líder en materia de IA.<sup>73</sup>

Varias empresas han realizado docenas de ensayos de vehículos de transporte autónomos de baja velocidad en Europa. Francia constituye un punto central en la investigación y desarrollo (I+D) dedicada a vehículos de transporte autónomos. En 2014 se creó en Francia una de las empresas más grande y más conocida, Navya. La empresa ha supervisado el envío de vehículos de transporte en todo el mundo y dispone de instalaciones en Michigan. Se han fabricado más de cien vehículos de transporte.<sup>74</sup> Keolis, un operador francés privado de sistemas de transporte público gestiona muchos de esos envíos.<sup>75</sup>

Otra de las empresas más importante del mundo de los vehículos de transporte autónomos es EasyMile. Fue creada en Toulouse en 2014 a raíz del proyecto CityMobile2 financiado por la UE. EasyMile ha fabricado más de cien vehículos de transporte que se han utilizado en ensayos en todo el mundo.<sup>76</sup> TransDev, otro operador francés privado de sistemas de transporte público, gestiona muchos de esos ensayos.<sup>77</sup> TransDev

también se ha asociado con la empresa Torc Robotics de los Estados Unidos de América para realizar ensayos de vehículos de transporte autónomos en Francia.<sup>78</sup>

Numerosas empresas francesas están haciendo notables esfuerzos para ampliar su presencia en el mercado de América del Norte.<sup>79</sup> Aunque muchas empresas francesas centradas en el VA siguen siendo pequeñas, están estableciendo activamente alianzas con otras empresas e instituciones, lo que demuestra su ambición global.

### Alemania

Es probable que Alemania ocupe el segundo lugar, tras los Estados Unidos de América, en cuanto que fuente de innovación y desarrollo de la tecnología ligada al VA. El programa de investigación PROMETHEUS, financiado por la UE durante la década de 1980 y paralelo a los programas de investigación de DARPA, patrocinó la investigación y permitió que instituciones alemanas, como la Universidad de las Fuerzas Armadas Federales de Múnich (UBM), se convirtieran en fuente de recursos y conocimientos en materia de IA y del VA.<sup>80</sup> El primer sistema de automatización de la conducción de nivel 2 disponible para los consumidores, con funciones de apoyo al conductor para controlar la dirección, los frenos y la aceleración del vehículo, fue introducido por Mercedes Benz a raíz del programa PROMETHEUS.<sup>81</sup>

En aras de una nueva era de movilidad autónoma compartida, el sector del automóvil de Alemania, incluidos Daimler, BMW y Volkswagen, ha establecido numerosas alianzas dentro y fuera de Alemania. Estas actividades no incluyen solamente alianzas menores para la investigación e inversiones conjuntas, sino también grandes consorcios.<sup>82</sup> Los fabricantes alemanes de vehículos han estado entre los que han comunicado más enérgicamente los objetivos de su oferta de sistemas de conducción automatizada. La empresa Audi, del grupo VW, anunció que el modelo A8 de 2018 tendría como opción el primer sistema ADS de nivel 3 disponible al público en todo el mundo, denominado “Traffic Jam Pilot”,<sup>83</sup> que permitiría una conducción altamente automatizada. Sin embargo, posteriormente informó del retraso de su implantación por motivos reglamentarios.<sup>84</sup> Mercedes ha anunciado que su sedán de la clase S incluirá el nivel 3 de automatización en 2020<sup>85</sup> y BMW tiene el objetivo de ofrecer al consumidor un sistema autónomo en 2021.<sup>86</sup>

Los proveedores de primer nivel del sector del automóvil en Alemania también están muy activos. La empresa de neumáticos Continental fabrica desde hace tiempo componentes para la automatización de los vehículos e incluso ha construido su propio vehículo de transporte autónomo.<sup>87</sup> Continental también aspira, como proveedor de fabricantes de automóviles, a proporcionar una plataforma ADS.<sup>88</sup> Durante años, la empresa alemana ZF ha establecido alianzas y se ha esforzado en formar parte de una cadena de suministro mundial para el VA y también está desarrollando un prototipo de vehículo.<sup>89</sup> Bosch es otro de los grandes proveedores de primer nivel que tiene el propósito de ofrecer tecnología para el VA y está trabajando con Daimler, entre otros, a fin de incluir la tecnología en futuros vehículos que se ofrecerán a los consumidores.<sup>90</sup> La madurez de este polo ha propiciado la creación de docenas de nuevas empresas relacionadas con la conducción autónoma y la movilidad.<sup>91</sup>

## Israel

La concentración de empresas de tecnología en este pequeño país es muy notable. Un cómputo realizado a mediados de 2018, indica que casi 1.000 nuevas empresas israelíes utilizaban o estaban desarrollando tecnología de IA y cada mes se establecían más de una docena de nuevas empresas.<sup>92</sup>

Empresas de nivel mundial dedicadas a la IA y el *software* mantienen desde hace tiempo instalaciones en Israel para aprovechar las ventajas de este ecosistema, a las que ha seguido el sector del automóvil. Por ejemplo, era llamativo que General Motors no tuviera una presencia importante en Silicon Valley (que no es el caso después de haber adquirido Cruise Automation), y por otro lado hubiera establecido un centro de investigación sobre tecnología para el vehículo automatizado en Israel en 2008, que amplió en 2016.<sup>93</sup> Otros fabricantes de automóviles han abierto o ampliado centros de investigación en Israel desde 2016.<sup>94</sup>

Quizás la empresa más conocida de Israel que ha contribuido al ecosistema mundial del VA es Mobileye, un proveedor de sistemas de visión para numerosos fabricantes de automóviles. Mobileye se creó en 1999. En 2014 realizó su primera oferta pública inicial (IPO) y en 2017 fue adquirida por Intel por 15.000 millones de dólares de los EE. UU. Como proveedor establecido, Mobileye afirma que su tecnología se ha integrado en más de 27 millones de vehículos de 25 marcas

diferentes.<sup>95</sup> Mobileye es actualmente la imagen de Intel en la cadena de suministro del sector del automóvil y persigue decididamente lograr una conducción plenamente autónoma. Intel ha anunciado una alianza con Champion Motors de Israel y Volkswagen para el despliegue de taxis sin conductor en Israel cuya comercialización está prevista en 2022.<sup>96</sup> Además de su papel de proveedor, la participación de Intel/Mobileye en alianzas estratégicas en I+D es cada vez más amplia y global.<sup>97</sup>

## 3.7 ¿Está la tecnología ligada al vehículo autónomo modificando la geografía de la innovación en la industria automotriz?

La innovación tiene una dimensión geográfica.<sup>98</sup> La investigación realizada muestra que las industrias tienden a ubicarse cercanas entre sí (véanse los capítulos 1 y 2). Los dos tipos de actores de la industria automotriz, los operadores tradicionales y los nuevos actores, tienen sus propios polos geográficos. Los nuevos actores se integran en polos especializados en tecnología distribuidos por todo el mundo (por ejemplo, Silicon Valley), mientras que los fabricantes de automóviles tradicionales están bien establecidos en sus polos de fabricación (por ejemplo, Detroit). La cuestión clave es si la aparición del VA ha hecho que los fabricantes de automóviles y las empresas de tecnología busquen una mayor proximidad. Si la respuesta es afirmativa, cabe preguntarse en qué sentido. ¿Se están estableciendo los fabricantes de automóviles en polos de empresas de tecnología o viceversa?

Aunque es demasiado precipitado dar una respuesta definitiva a esas preguntas, la información que se desprende de los datos sobre patentes puede ser ilustrativa. En la presente sección se analizan las patentes de las principales empresas de nivel mundial de la industria automotriz localizadas en tres zonas geográficas: los Estados Unidos de América (Ford y GM), Alemania (Daimler, BMW, Audi, Volkswagen y Bosch) y el Japón (Toyota, Honda y Nissan). Se ha examinado toda la cartera de patentes de esas empresas y se ha seleccionado y analizado un subconjunto de patentes relacionadas con la tecnología ligada al VA. Sobre la base de esos datos, se ha calculado el porcentaje de la actividad de patentamiento de cada empresa en sus respectivos polos, así como el porcentaje de las patentes relacionadas con el VA. Por ejemplo, el 72,6% de las patentes de Daimler tienen su origen en Stuttgart,

**Aunque existe cierto desplazamiento geográfico marginal, la innovación de las empresas de tecnología y de automoción aún se realiza principalmente en ubicaciones radicadas en sus países de origen**

**Cuadro 3.1 Comparación entre el porcentaje total de patentes y el porcentaje de patentes relacionadas con el vehículo autónomo de varios fabricantes de automóviles en diversos polos de actividad**

Nombre del polo	Porcentaje del total (%)	Porcentaje del VA (%)	Nombre del polo	Porcentaje del total (%)	Porcentaje del VA (%)
<b>Audi</b>			<b>GM</b>		
Ingolstadt	60,1	60	Detroit–Ann Arbor	45,3	54,7
Múnich	10,7	18,8	Waterford	5,1	11,3
Fráncfort	3,9	6,2	Los Ángeles	4,5	8,5
San José–San Francisco	0,4	6,2	Fráncfort	16,6	7,5
<b>BMW</b>			<b>Honda</b>		
Múnich	72,5	84,1	Tokio	90,8	82,3
Núremberg	1,3	6,1	Los Ángeles	0,2	3,7
Würzburg	0,4	3,7	Osaka	2,6	2,4
San José–San Francisco	0,4	3,7	Nagoya	3,1	1,8
<b>Bosch</b>			<b>Nissan</b>		
Stuttgart	69,1	77,6	Tokio	97,0	87,7
Múnich	2,6	5,0	Osaka	1,5	8,6
San José–San Francisco	1,0	4,6	San José–San Francisco	0,0	3,1
Brunswick	0,5	4,1	Nagoya	1,2	2,5
<b>Daimler</b>			<b>Toyota</b>		
Stuttgart	72,6	76,9	Nagoya	95,4	93,7
Ulm	5,8	7,4	Tokio	5,4	5,2
Fráncfort	5,1	4,1	Osaka	2,3	3,0
Aquisgrán	0,7	4,1	Shizuoka	0,2	1,1
<b>Ford</b>			<b>Volkswagen</b>		
Detroit–Ann Arbor	65,0	71,5	Wolfsburg	47,9	46,8
Cologne–Dusseldorf	8,8	6,6	Brunswick	37,1	40,3
San José–San Francisco	1,4	3,6	San José–San Francisco	1,0	16,1
Aquisgrán	4,8	2,9	Berlín	4,8	9,7

Nota: La suma de los porcentajes puede ser superior al 100% debido a que una única patente puede ser asignada a más de un polo por lo que se produce un doble cómputo.

mientras que el 76,9% de sus patentes ligadas al VA también tienen su origen allí.

La mayor parte de las patentes relacionadas con el VA de los fabricantes de automóviles aún se generan en los mismos polos principales donde tiene lugar la mayoría de su actividad total de patentamiento. No obstante,

también existen variaciones importantes. Más del 82% del total de las patentes y las patentes específicas relacionadas con el VA de los fabricantes de automóviles japoneses corresponden a sus polos principales en el Japón, una proporción mucho mayor que la que presentan las dos empresas de los Estados Unidos de América, como puede apreciarse en el cuadro 3.1.

pido análisis de la lista de los polos de segundo nivel incluidos en el cuadro muestra algunas diferencias interesantes. Algunos de los polos, como los de San José, Berlín, Los Ángeles y Osaka, tienen una fuerte especialización en el VA (en el sentido de que el porcentaje que suponen sus patentes relacionadas con el VA es superior al porcentaje que supone su número total de patentes). Por ejemplo, en el caso de Volkswagen, San José y Berlín representan el 16,1% y el 9,7% de las patentes relacionadas con el VA, pero solo el 1% y el 4,8% del total de patentes respectivamente.<sup>99</sup>

A fin de verificar si las empresas de tecnología se han aproximado físicamente a los fabricantes de automóviles se repitió el análisis.<sup>100</sup> Las empresas seleccionadas fueron Google, Waymo, Delphi, Mobileye, DeepMap, Magna Electronics, Qualcomm, Uber y Apple. No se ha observado una tendencia de desplazamiento sistemático hacia los polos de la industria automotriz. Al igual que ocurre con los fabricantes de automóviles, la mayor parte de su actividad total de patentamiento y la relacionada con el VA se realizan en el mismo polo principal.

La geografía de las patentes de Uber relacionadas con el VA es interesante. Si bien el 39,6% del total de sus patentes se originan en San Francisco, Silicon Valley no es su principal polo de actividad en relación con el VA. Aproximadamente el 48,5% de las patentes de Uber relacionadas con el VA corresponden a Pittsburgh, donde la empresa ha contratado a investigadores de la CMU o ha colaborado con ellos. Uber también ha estado realizando pruebas de vehículos autónomos en Pittsburg desde finales de 2018.

Estos resultados indican que, aunque existe cierto desplazamiento geográfico marginal, la innovación de las empresas del sector de la automoción y las empresas de tecnología aún se produce principalmente en las ubicaciones radicadas en sus países de origen. Aunque los datos disponibles son interesantes, deben analizarse con precaución. Las cifras, especialmente las de patentes relacionadas con el VA, son muy limitadas y el peso relativo de ese limitado conjunto de patentes puede distorsionar la imagen global. Por otra parte, los datos sobre patentes se publican con un retraso de al menos 18 meses respecto a la primera presentación de la solicitud de patente. Además, la innovación real puede haberse realizado meses o incluso años antes de presentar la solicitud de patente. Finalmente, la desambiguación del nombre del solicitante puede haber influido en los resultados de algunas empresas.

### 3.8 Posibles efectos positivos y negativos de los vehículos autónomos

A pesar de las grandes expectativas que suscita el vehículo autónomo, los vehículos plenamente autónomos están, si no a décadas, sí definitivamente a años de su materialización efectiva.<sup>101</sup> Numerosos avances tecnológicos interrelacionados están creando nuevas reglas en una industria que no había modificado su forma de operar desde hace casi un siglo. Los actores principales de los sectores de la tecnología y del automóvil tradicional, aunque con distintos incentivos, están agrupando recursos para alcanzar la meta del vehículo autónomo. No obstante, los obstáculos no son solamente técnicos. Cada revolución tecnológica afronta en sus inicios cierto grado de inercia social y técnica ya que la nueva tecnología requiere cambios organizativos que también afectan a la interacción entre las personas y la tecnología. Con frecuencia, se plantean dificultades a la hora de aceptar los cambios.

El actual ecosistema de la industria automotriz (por ejemplo, su poder de mercado y su situación social y política) es muy sólido y ha permanecido estable durante décadas. No es probable que el ecosistema cambie fácilmente salvo que también cambien los actores principales del sector (es decir, que los fabricantes de automóviles salgan del mercado o que este pase a estar dominado por completo por las empresas de tecnología), se produzca una transformación radical de las cuestiones políticas y reglamentarias o cambien considerablemente la demanda y las preferencias de los clientes. Al mismo tiempo, la opinión pública aún está dividida con respecto al VA.

Los defensores de la tecnología ligada al VA consideran que solucionará algunos graves problemas urbanos. Por ejemplo, podría reducir los atascos y la contaminación y mejorar la seguridad vial. La mayor precisión del movimiento de los vehículos autónomos y la eliminación de errores humanos pueden reducir las muertes por tráfico. Los vehículos conectados “inteligentes” pueden viajar con seguridad a mucha menos distancia entre sí, una técnica conocida como “tren de carretera”. Esta técnica, junto con los sistemas de autopistas preparadas para la automatización, aumentaría la capacidad de las vías de circulación y permitirían otras mejoras de eficiencia, como un menor consumo de combustible y mayor eficiencia energética, lo que también redundaría positivamente en el medio ambiente.

No se desperdiciarían horas “al volante” y quienes antes tenían la obligación de conducir podrían dedicar ese tiempo a relajarse, trabajar o incluso a dormir. Los niños, las personas mayores y las personas con discapacidad tendrían una mayor independencia y movilidad. Los espacios actualmente dedicados a aparcamientos podrían tener otros usos.

Sin embargo, no todas las opiniones sobre los vehículos autónomos son tan positivas. En 2018, el accidente que ocasionó la muerte de un peatón en Arizona, en un accidente en el que estuvo involucrado un vehículo en pruebas que funcionaba en modo autónomo, supuso un enorme retroceso. Algunas empresas paralizaron temporalmente sus ensayos en vías públicas. Cualquiera que sea la situación de la tecnología, el público en general quizá no esté preparado para el uso generalizado de los VA. Algunos críticos dudan de que los VA ayuden realmente a solucionar cuestiones urbanas como los atascos y la contaminación. La nueva tecnología podría simplemente aumentar el número de vehículos en circulación y, por lo tanto, la congestión del tráfico. Además, el carácter autónomo de los vehículos podría inducir a quienes deben desplazarse para ir a su trabajo a utilizar más el vehículo en lugar de tomar el tren, que es menos contaminante.

La privacidad y la ciberseguridad son también preocupaciones importantes. Los datos sobre conductores recopilados a través de vehículos autónomos y conectados y de otras aplicaciones de los “sistemas de transporte inteligentes” podrían utilizarse para fines no relacionados con la conducción. La posibilidad de que piratas informáticos accedan ilegalmente al sistema y modifiquen la información o la identidad de un vehículo es una de las muchas preocupaciones inquietantes al respecto. Los sistemas jurídicos y reglamentarios tienen actualmente dificultades para mantenerse al día ante la rápida evolución de la industria automotriz. Aún no está claro quién asumiría la responsabilidad jurídica en caso de accidente, si la empresa que explota el *software*, el vehículo o la plataforma de movilidad.

Además, los países y las regiones tienen distintos niveles de preparación de sus infraestructuras para el VA. Los diferentes niveles pueden extremar las desigualdades entre zonas más ricas y más pobres de los países y entre regiones. Todos esos cambios se propagarán a otras industrias, desde el sector de los seguros a la reparación, la conducción de camiones y de taxis. La tecnología ligada al VA tiene repercusiones que van más allá de los límites de un único sector.

Hasta que el mundo de la automoción y la tecnología pueda abordar todas esas cuestiones técnicas, éticas, de seguridad y jurídicas, el futuro del VA seguirá siendo un sueño.

## Notas

- 1 Esta sección se basa en Dziczek *et al.* (2019).
- 2 En este capítulo términos como vehículo autónomo, sin conductor, etc. se utilizan indistintamente y hacen referencia al mismo fenómeno.
- 3 Véase el Informe de la OMPI sobre tendencias de la tecnología 2019: Inteligencia artificial.
- 4 Véase Tripsas (1997) sobre estrategias para el desarrollo interno de conocimientos, Zucker y Darby (1997) sobre la contratación de capital humano, Rothaermel (2001) sobre alianzas estratégicas, Higgins y Rodríguez (2006) sobre adquisiciones de nuevos actores y Rothaermel y Hess (2007) sobre la combinación de esas estrategias.
- 5 Véase Klepper (1997), Audrestsch y Feldman (1996), Abernathy y Utterback (1978), Jovanovic y MacDonald (1994).
- 6 Véase Abernathy y Clark (1985) y Klepper (1997).
- 7 Véase Klepper (1997).
- 8 Véase Global EV Outlook (2019).
- 9 Véase Prahalad y Hamel (1997).
- 10 Véase Zehtabchi (2019) para obtener información más detallada sobre la estrategia de búsqueda de patentes y publicaciones científicas sobre el VA.
- 11 Véase Intel (n.d.).
- 12 La tecnología incluye: electrónica, TIC, semiconductores y audiovisual. Automoción incluye: instrumentos, materiales, máquinas, motores y transporte, ingeniería civil. Otros incluye: biofarmacéutico, químico y medioambiente y productos para el consumidor.
- 13 Véase Zehtabchi (2019).
- 14 Véase Hummel (2019).
- 15 Véase Reuters (2019).
- 16 Una pila tecnológica es el conjunto de todas las herramientas y tecnologías utilizadas para la creación y el funcionamiento de un producto.
- 17 Véase VIA Technologies (2018).
- 18 Véase Randall (2019).
- 19 Véase Hawkins (2019).
- 20 Véase Chesbrough (2003)
- 21 Véase Arora y Gambardella (1990).
- 22 Véase Teece (1986).
- 23 Véase Gans y Stern (2003) y Cozzolino y Rothaermel (2018).
- 24 Véase Perkins y Murmann (2018).
- 25 Véase MacDuffie (2018), Jiang y Lu (2018), Teece (2018).
- 26 Véase Capron y Mitchell (2012).
- 27 La mayoría de los datos fueron recopilados de los anuncios más recientes de los medios y las empresas. No obstante, en ocasiones esta información puede ser confusa ya que pueden existir otras motivaciones detrás de los anuncios como la señalización al mercado y atraer la atención de los inversores.
- 28 Véase Bresnahan y Tratjenberg (1995).
- 29 Los datos de patentes y publicaciones científicas utilizados en esta sección son un subconjunto de los explicados en el capítulo 2. Para más información sobre la estrategia de búsqueda y recopilación de datos véanse los respectivos documentos de trabajo.
- 30 Véase Lee y Lim (2001).
- 31 Véase Toyota Research Institute - CSAIL (n.d.).
- 32 Véase Stone (2018).
- 33 Véase Abuelsamid (2017).
- 34 Véase nuTonomy (2017).
- 35 Véase Singapore Economic Development Board (2016).
- 36 Véase Engel (2017).
- 37 Véase Bigelow (2019a).
- 38 Véase Bigelow (2019b).
- 39 Véase Nicas (2017).
- 40 Véase Snaveley (2017).
- 41 Véase Universidad de Waterloo (n.d.) y McKenzie y McPhee (2017).
- 42 Véase Universidad de Toronto (2019).
- 43 Véase Universidad Carnegie Mellon (1986).
- 44 Véase U.S. Defense Advanced Research Projects Agency (n.d.).
- 45 Véase Lowensohn (2015).
- 46 Véase Vasilash (2018).
- 47 Véase Universidad Carnegie Mellon (n.d.).
- 48 Wiggers (2019).
- 49 Véase Departamento de Vehículos a Motor de California (n.d.).
- 50 Véase Teece (2019).
- 51 Véase la traducción completa: China's 'New Generation Artificial Intelligence Development Plan' (2017).
- 52 Economist (2019).
- 53 Véase Feifei (2019).
- 54 Véase Silver (2018).
- 55 Véase Teece (2019) y Jing (2018).
- 56 Consultar [apollo.auto](https://www.apollo.auto).
- 57 Véase Xinhua (2019).
- 58 Véase Liao (2019).
- 59 Consultar [research.baidu.com](https://www.research.baidu.com).
- 60 Véase Korosec (2018).
- 61 Consultar [www.ukautodrive.com/the-uk-autodrive-project](https://www.ukautodrive.com/the-uk-autodrive-project).
- 62 Véase Fleet News (2018).
- 63 Véase U.K. Department for Transport (2015).
- 64 Véase Dennis y Brugeman (2019).
- 65 El transporte personal rápido (PRT), que también se denomina *podcars*, es un modo de transporte público caracterizado por pequeños vehículos automatizados que funcionan sobre una red de guías construidas al efecto.
- 66 Véase Dennis y Brugeman (2019).
- 67 Véase Taylor (n.d.).

- 68 Véase ARM (n.d.).
- 69 Véase Poulanges (2017).
- 70 Véase PSA Groupe (n.d.).
- 71 Véase PSA Groupe (n.d.).
- 72 Véase Valeo (2015).
- 73 Véase Ministère de l'Enseignement supérieur, de la Recherche et de l'Innovation (2019).
- 74 Véase Dennis y Brugeman (2019).
- 75 Consultar [www.keolis.com/en](http://www.keolis.com/en).
- 76 Véase Dennis y Brugeman (2019).
- 77 Consultar [www.transdev.com/en](http://www.transdev.com/en).
- 78 Véase McQuilkin (2019).
- 79 Véase UBI Mobility-Connected Cars France (2018).
- 80 Véase Dickmanns (2002).
- 81 Véase Gregor *et al.* (2002), Daimler (2016), Oagana (2016).
- 82 Véase Taylor y Wissenbach (2019).
- 83 Véase Audi (2017).
- 84 Véase Ulrich (2019).
- 85 Véase Hetzner (2018).
- 86 Véase DeMattia (2018).
- 87 Véase Continental AG (n.d.).
- 88 Véase Continental AG (2018).
- 89 Véase Behrmann y Rauwald (2018).
- 90 Véase Daimler (n.d.).
- 91 Véase Initiative for Applied Artificial Intelligence (n.d.).
- 92 Véase Singer (2018).
- 93 Véase South Africa Israel Chamber of Commerce (2016).
- 94 Véase Leichman (2017).
- 95 Véase Scheer (2018).
- 96 Véase Intel (2018).
- 97 Véase Reichert (2019).
- 98 Véase Saxenian (1996) y (2007).
- 99 Véase Zehtabchi (2019).
- 100 Véase Zehtabchi (2019).
- 101 Véase Ghemawat (1991).

## Referencias

- Abernathy, W.J. and K.B. Clark (1985). Innovation: mapping the winds of creative destruction. *Research Policy*, 14(1), 3–22.
- Abernathy, W.J. and J.M. Utterback (1978). Patterns of industrial innovation. *Technology Review*, 80(7), 40–47.
- Abuelsamid, S. (2017). Delphi acquires nuTonomy for \$450M, advancing push for automated Driving. *Forbes*, October 24. [www.forbes.com/sites/samabuelsamid/2017/10/24/delphi-acquires-automated-driving-startup-nutonomy-for-450m](http://www.forbes.com/sites/samabuelsamid/2017/10/24/delphi-acquires-automated-driving-startup-nutonomy-for-450m)
- ARM. (n.d.). Automotive Autonomous Drive. [www.arm.com/solutions/automotive/autonomous-car](http://www.arm.com/solutions/automotive/autonomous-car)
- Arora, A. and A. Gambardella (1990). Complementarity and external linkages: the strategies of the large firms in biotechnology. *The Journal of Industrial Economics*, 38(4), 361–379.
- Audi. (2017). *Audi piloted driving*. [media.audiusa.com/models/piloteddriving](http://media.audiusa.com/models/piloteddriving)
- Audretsch, D.B. and M.P. Feldman (1996). Innovative clusters and the industry life cycle. *Review of Industrial Organization*, 11(2), 253–273.
- Behrmann, E. and C. Rauwald (2018). ZF plans \$14 billion autonomous vehicle push, concept van. *Automotive News*, September 19.
- Bigelow, P. (2019a). Waymo firms up plans for autonomous car assembly plant in Detroit. *Automotive News*, April 23.
- Bigelow, P. (2019b). Waymo to build self-driving cars in Detroit, invest \$13.6 million in factory. *Crain's Detroit Business*, April 23.
- Bresnahan, T.F. and M. Trajtenberg (1995). General purpose technologies 'Engines of growth'? *Journal of Econometrics*, 65(1), 83–108.
- California Department of Motor Vehicles. (n.d.). Testing of autonomous vehicles with a driver. [www.dmv.ca.gov/portal/dmv/detail/vr/autonomous/testing](http://www.dmv.ca.gov/portal/dmv/detail/vr/autonomous/testing)
- Capron, L. and W. Mitchell (2012). *Build, Borrow, or Buy: Solving the Growth Dilemma*. Cambridge, MA: Harvard Business Press.
- Carnegie Mellon. (1986). NavLab 1. Robotics Institute History of Self-Driving Cars. YouTube video, [www.youtube.com/watch?v=ntlczNqKfQ](http://www.youtube.com/watch?v=ntlczNqKfQ)
- Carnegie Mellon University. (n.d.). No Hands Across America. [www.cs.cmu.edu/~tjochem/nhaa/nhaa\\_home\\_page.html](http://www.cs.cmu.edu/~tjochem/nhaa/nhaa_home_page.html)
- Chesbrough, H.W. (2003). *Open Innovation: The New Imperative for Creating and Profiting from Technology*. Cambridge, MA: Harvard Business Press.
- Continental AG (2018). Continental expands automated driving tests on the autobahn. Press Release, April 26. [www.continental.com/en/press/press-releases/cruisingchauffeur-128928](http://www.continental.com/en/press/press-releases/cruisingchauffeur-128928)
- Continental AG. (n.d.). Driverless mobility. [www.continental-automotive.com/en-gl/Landing-Pages/CAD/Automated-Driving/Hidden-Pages/Driverless-Mobility](http://www.continental-automotive.com/en-gl/Landing-Pages/CAD/Automated-Driving/Hidden-Pages/Driverless-Mobility)
- Cozzolino, A. and F.T. Rothaermel (2018). Discontinuities, competition, and cooperation: Cooperative dynamics between incumbents and entrants. *Strategic Management Journal*, 39(12), 3053–3085.
- Daimler. (2016). The PROMETHEUS project launched in 1986: Pioneering autonomous driving. Press release, September 20.
- Daimler. (n.d.). Reinventing safety: a joint approach to automated driving systems. [www.daimler.com/innovation/case/autonomous/reinventing-safety-2.html](http://www.daimler.com/innovation/case/autonomous/reinventing-safety-2.html)
- DeMattia, N. (2018). Klaus Fröhlich talks about BMW iNEXT. *BMW Blog*, September 24. [www.bmwblog.com/2018/09/24/klaus-frohlich-to-talks-about-bmw-inext](http://www.bmwblog.com/2018/09/24/klaus-frohlich-to-talks-about-bmw-inext)
- Dennis, E.P. and V.S. Brugeman (2019). *Automated and Connected Vehicle Deployment Efforts: A Primer for Transportation Planners*. Ann Arbor, MI: Center for Automotive Research; Lansing, MI: Michigan Department of Transportation.
- Dickmanns, E. (2002). The development of machine vision for road vehicles in the last decade. In *Proceedings Intelligent Vehicle Symposium 2002*, Versailles, June 17–21. Piscataway, NJ: IEEE, 268–281.
- Dziczek, K, E.P. Dennis, Q. Hong, Y. Chen, V. Sathe-Brugeman and E. Marples (2019). Automated Driving Technology Report. Unpublished background report for the World Intellectual Property Organization.

- Economist (2019). Chinese firms are taking a different route to driverless cars. *The Economist*, October 12. [www.economist.com/business/2019/10/12/chinese-firms-are-taking-a-different-route-to-driverless-cars](http://www.economist.com/business/2019/10/12/chinese-firms-are-taking-a-different-route-to-driverless-cars)
- Engel, J. (2017). Optimus Ride drives off with \$18M for autonomous vehicle tech. *xconomy*, November 2. [xconomy.com/boston/2017/11/02/optimus-ride-drives-off-with-18m-for-autonomous-vehicle-tech](http://xconomy.com/boston/2017/11/02/optimus-ride-drives-off-with-18m-for-autonomous-vehicle-tech)
- Feifei, F. (2019). Autonomous vehicles gaining more ground. *China Daily*, January 15. [www.chinadaily.com.cn/a/201901/15/WS5c3d2bb0a3106c65c34e46e2.html](http://www.chinadaily.com.cn/a/201901/15/WS5c3d2bb0a3106c65c34e46e2.html)
- Fleet News (2018). UK CITE enters second phase of Coventry autonomy testing with Jaguar Land Rover. *Fleet News*, July 2. [www.fleetnews.co.uk/news/environment/2018/07/02/uk-cite-enters-second-phase-of-coventry-autonomy-testing-with-jaguar-land-rover](http://www.fleetnews.co.uk/news/environment/2018/07/02/uk-cite-enters-second-phase-of-coventry-autonomy-testing-with-jaguar-land-rover)
- Foundation for Law and International Affairs (FLIA) (2017). China's New Generation of Artificial Intelligence Development Plan. [flia.org/notice-state-council-issuing-new-generation-artificial-intelligence-development-plan](http://flia.org/notice-state-council-issuing-new-generation-artificial-intelligence-development-plan)
- Gans, J.S. and S. Stern (2003). The product market and the market for "ideas": commercialization strategies for technology entrepreneurs. *Research Policy*, 32(2), 333–350.
- Ghemawat, P. (1991). Market incumbency and technological inertia. *Marketing Science*, 10(2), 161–171.
- Gregor, R., M. Lutzeler, M. Pellkofer, K-H. Siedersberger and E. Dickmanns (2002). MS-Vision: a perceptual system for autonomous vehicles. *IEEE Transactions on Intelligent Transportation Systems*, 3(1), 48–59.
- Hawkins, A.J. (2019). Waymo is making some of its self-driving car data available for free to researchers. *The Verge*, August 21. [www.theverge.com/2019/8/21/20822755/waymo-self-driving-car-data-set-free-research](http://www.theverge.com/2019/8/21/20822755/waymo-self-driving-car-data-set-free-research)
- Hetzner, C. (2018). Mercedes plans advanced self-driving tech for next S class. *Automotive News*, October 11.
- Higgins, M.J. and D. Rodriguez (2006). The outsourcing of R&D through acquisitions in the pharmaceutical industry. *Journal of Financial Economics*, 80(2), 351–383.
- Hummel, T. (2019). BMW, Daimler seal self-driving tech partnership. *Automotive News Europe*, July 4. [europe.autonews.com/automakers/bmw-daimler-seal-self-driving-tech-partnership](http://europe.autonews.com/automakers/bmw-daimler-seal-self-driving-tech-partnership)
- Initiative for Applied Artificial Intelligence. (n.d.). German Startup Landscape of Autonomous Driving. [appliedai.de/insights/autonomous-driving](http://appliedai.de/insights/autonomous-driving)
- Intel. (n.d.). 5G Is key to fully realizing connected and autonomous vehicles. [www.intel.com/content/www/us/en/communications/5g-connected-vehicle.html](http://www.intel.com/content/www/us/en/communications/5g-connected-vehicle.html)
- Intel. (2018). Volkswagen, Mobileye and Champion Motors to invest in Israel and deploy first autonomous EV ride-hailing service. *Intel Newsroom*, October 29. [newsroom.intel.com/news-releases/volkswagen-mobileye-champion-motors-invest-israel-deploy-first-autonomous-ev-ride-hailing-service/#gs.bt6x8i](http://newsroom.intel.com/news-releases/volkswagen-mobileye-champion-motors-invest-israel-deploy-first-autonomous-ev-ride-hailing-service/#gs.bt6x8i)
- International Energy Agency (IEA). (2019). *Global EV Outlook 2019*. Paris: IEA. [www.iea.org/publications/reports/globalevoutlook2019](http://www.iea.org/publications/reports/globalevoutlook2019)
- Jiang, H. and F. Lu (2018). To be friends, not competitors: a story different from Tesla driving the Chinese automobile industry. *Management and Organization Review*, 14(3), 491–499.
- Jing, M. (2018). Baidu's self-driving cars require more human intervention than Alphabet's Waymo. *South China Morning Post*, May 7. [www.scmp.com/tech/enterprises/article/2144863/baidus-self-driving-carsrequire-more-human-intervention-alphabets](http://www.scmp.com/tech/enterprises/article/2144863/baidus-self-driving-carsrequire-more-human-intervention-alphabets)
- Jovanovic, B. and G.M. MacDonald (1994). The life cycle of a competitive industry. *Journal of Political Economy*, 102(2), 322–347.
- Klepper, S. (1997). Industry life cycles. *Industrial and corporate change*, 6(1), 145–182.
- Korosec, K. (2018). Waymo opens subsidiary in China. *TechCrunch*, August 24. [techcrunch.com/2018/08/24/waymo-opens-subsidiary-in-china](http://techcrunch.com/2018/08/24/waymo-opens-subsidiary-in-china)
- Lee, K. and C. Lim (2001). Technological regimes, catching-up and leapfrogging: findings from the Korean industries. *Research Policy*, 30(3), 459–483.
- Leichman, A.K. (2017). Porsche

invests 8-figure sum in Israeli auto innovation. *Israel21c*, June 4. [www.israel21c.org/porsche-invests-8-figure-sum-in-israeli-auto-innovation](http://www.israel21c.org/porsche-invests-8-figure-sum-in-israeli-auto-innovation)

Liao, R. (2019). Search giant Baidu has driven the most autonomous miles in Beijing. *TechCrunch*, April 2. [techcrunch.com/2019/04/02/baidu-self-driving-2018](http://techcrunch.com/2019/04/02/baidu-self-driving-2018)

Lowensohn, J. (2015). Uber just announced its own self-driving car project. *The Verge*, February 2. [www.theverge.com/2015/2/2/7966527/uber-just-announced-its-own-self-driving-car-project](http://www.theverge.com/2015/2/2/7966527/uber-just-announced-its-own-self-driving-car-project)

MacDuffie, J.P. (2018). Response to Perkins and Murmann: Pay attention to what is and isn't unique about Tesla. *Management and Organization Review*, 14(3), 481–489.

McKenzie, R. and J. McPhee (2017). Research and educational programs for connected and autonomous vehicles at the University of Waterloo. *Mechanical Engineering*, 139(12), S21–S23. [www.memagazineselect.asmedigitalcollection.asme.org/article.aspx?articleid=2676826](http://www.memagazineselect.asmedigitalcollection.asme.org/article.aspx?articleid=2676826)

McQuilkin, K. (2019). Blacksburg's Torc Robotics is launching autonomous shuttle buses in France. *RichmondInno*, January 8. [www.americaninno.com/richmond/tech-news-richmond/blacksburgs-torc-robotics-is-launching-autonomous-shuttle-buses-in-france](http://www.americaninno.com/richmond/tech-news-richmond/blacksburgs-torc-robotics-is-launching-autonomous-shuttle-buses-in-france)

Ministère de l'Enseignement supérieur de la Recherche et de l'Innovation (2019). Lancement de 4 Instituts Interdisciplinaires d'Intelligence Artificielle (3IA) et ouverture de deux appels à projets complémentaires. Press release, April 24. [www.enseignementsup-recherche.gouv.fr/cid141320/lancement-de-4-instituts-interdisciplinaires-d-ia-3ia-et-ouverture-de-deux-appels-a-projets-complementaires.html](http://www.enseignementsup-recherche.gouv.fr/cid141320/lancement-de-4-instituts-interdisciplinaires-d-ia-3ia-et-ouverture-de-deux-appels-a-projets-complementaires.html)

Nicas, J. (2017). Google parent retires 'Firefly' self-driving prototype. *Wall Street Journal*, June 13.

nuTonomy. (2017). Aptiv opens Boston Technology Center. Press release, December 12. [www.aptiv.com/media/article/2017/12/12/aptiv-opens-boston-technology-center](http://www.aptiv.com/media/article/2017/12/12/aptiv-opens-boston-technology-center)

Oagana, A. (2016, January 25). A short history of Mercedes-Benz autonomous driving technology AutoEvolution. Retrieved from [www.autoevolution.com/news/a-short-history-ofmercedes-benz-autonomous-driving-technology-68148.html](http://www.autoevolution.com/news/a-short-history-ofmercedes-benz-autonomous-driving-technology-68148.html)

Perkins, G. and J.P. Murmann (2018). What does the success of Tesla mean for the future dynamics in the global automobile sector? *Management and Organization Review*, 14(3), 471–480.

Poulanges, M. (2017). Renault presents eyes-off/hands-off technology for the autonomous vehicle of the future. Groupe Renault, June 28. [group.renault.com/en/news/blog-renault/renault-presents-eyes-offhands-off-technology-for-the-autonomous-vehicle-of-the-future](http://group.renault.com/en/news/blog-renault/renault-presents-eyes-offhands-off-technology-for-the-autonomous-vehicle-of-the-future)

Prahalad, C.K. and G. Hamel (1997). The core competence of the corporation. In *Strategische Unternehmensplanung/Strategische Unternehmensführung*. Heidelberg: Physica, 969–987.

PSA Groupe. (n.d.). On the road to the autonomous car! [www.groupe-psa.com/en/story/en-route-vers-la-voiture-autonome](http://www.groupe-psa.com/en/story/en-route-vers-la-voiture-autonome)

Randall, T. (2019). Waymo starts selling sensors to lower cost of self-driving cars. *Bloomberg Hyperdrive*, March 6. [www.bloomberg.com/news/articles/2019-03-06/waymo-starts-selling-sensors-to-lower-cost-of-self-driving-cars](http://www.bloomberg.com/news/articles/2019-03-06/waymo-starts-selling-sensors-to-lower-cost-of-self-driving-cars)

Reichert, C. (2019). CES 2019: Mobileye inks autonomous vehicle deals across China. *ZD Net*, January 8. [www.zdnet.com/article/ces-2019-mobileye-inks-autonomous-vehicle-deals-across-china](http://www.zdnet.com/article/ces-2019-mobileye-inks-autonomous-vehicle-deals-across-china)

Reuters (2019). Audi to join Mercedes, BMW development alliance: paper. [www.reuters.com/article/us-volkswagen-audi-bmw-daimler/audi-to-join-mercedes-bmw-development-alliance-paper-idUSKCN1VC0YT](http://www.reuters.com/article/us-volkswagen-audi-bmw-daimler/audi-to-join-mercedes-bmw-development-alliance-paper-idUSKCN1VC0YT)

Rothaermel, F. T. (2001). Incumbent's advantage through exploiting complementary assets via interfirm cooperation. *Strategic management journal*, 22(6-7), 687–699.

Rothaermel, F.T. and A.M. Hess (2007). Building dynamic capabilities: innovation driven by individual-, firm-, and network-level effects. *Organization Science*, 18(6), 898–921.

Saxenian, A. (1996). *Regional Advantage*. Cambridge, MA: Harvard University Press.

Saxenian, A. (2007). *The New Argonauts: Regional Advantage in a Global Economy*. Cambridge, MA: Harvard University Press.

Scheer, S. (2018). Mobileye gets self-driving tech deal for 8 million cars. *Automotive News Europe*, May 17. [europe.autonews.com/article/20180517/ANE/180519817/mobileye-gets-self-driving-tech-deal-for-8-million-cars](http://europe.autonews.com/article/20180517/ANE/180519817/mobileye-gets-self-driving-tech-deal-for-8-million-cars)

Silver, D. (2018). Baidu brings the Waymo model to China. *Forbes*, November 1. [www.forbes.com/sites/davidsilver/2018/11/01/baidu-brings-the-waymo-model-to-china/#d0b52193d961](http://www.forbes.com/sites/davidsilver/2018/11/01/baidu-brings-the-waymo-model-to-china/#d0b52193d961)

Singapore Economic Development Board. (2016). World's first driverless taxi system comes to Singapore. [www.edb.gov.sg/en/news-and-events/insights/innovation/world-s-first-driverless-taxi-system-comes-to-singapore.html](http://www.edb.gov.sg/en/news-and-events/insights/innovation/world-s-first-driverless-taxi-system-comes-to-singapore.html)

Singer, D. (2018). Israel's artificial intelligence start-ups. *StartupHub.ai*. [www.startuphub.ai/israels-artificial-intelligence-startups-2018](http://www.startuphub.ai/israels-artificial-intelligence-startups-2018)

Snavely, B. (2017). Roush expands in Troy, will hire 150 engineers of self-driving tech. *Detroit Free Press*. May 9.

South Africa Israel Chamber of Commerce. (2016). Autonomous cars herald new era for Israeli high-tech. [saicc.co.za/general-motors-to-triple-size-of-rd-israelicentre](http://saicc.co.za/general-motors-to-triple-size-of-rd-israelicentre)

Stone, A. (2018). What the three tiers of automotive marketing mean today. *Forbes*, June 28. [www.forbes.com/sites/forbesagencycouncil/2018/06/28/what-the-three-tiers-of-automotive-marketing-mean-today/#c449dec26510](http://www.forbes.com/sites/forbesagencycouncil/2018/06/28/what-the-three-tiers-of-automotive-marketing-mean-today/#c449dec26510)

Taylor, M. (n.d.). AI in Cambridge: the machine learning capital of the U.K.? *Luminous PR*. [luminouspr.com/cambridge-the-ai-capital-of-the-uk](http://luminouspr.com/cambridge-the-ai-capital-of-the-uk)

Taylor, E. and I. Wissenbach (2019). As Google races ahead, German carmakers look to go faster on autonomous driving. Reuters, January 23. [www.reuters.com/article/us-germany-autos/as-google-races-ahead-german-carmakers-look-to-go-faster-on-autonomous-driving-idUSKCN1PH18C](http://www.reuters.com/article/us-germany-autos/as-google-races-ahead-german-carmakers-look-to-go-faster-on-autonomous-driving-idUSKCN1PH18C)

Teece, D.J. (1986). Profiting from technological innovation: implications for integration, collaboration, licensing and public policy. *Research Policy*, 15(6), 285–305.

Teece, D.J. (2018). Tesla and the reshaping of the auto industry. *Management and Organization Review*, 14(3), 501–512.

Teece, D.J. (2019). China and the reshaping of the auto industry: a dynamic capabilities perspective. *Management and Organization Review*, 15(1), 177–199.

Toyota Research Institute-CSAIL. (n.d.). *Joint Research Center*. [toyota.csail.mit.edu](http://toyota.csail.mit.edu)

Tripsas, M. (1997). Unraveling the process of creative destruction: complementary assets and incumbent survival in the typesetter industry. *Strategic Management Journal*, 18(S1), 119–142.

UBI Mobility-Connected Cars France (2018). French delegation: Connected autonomous vehicles. [1419891vq14j2fapah1bpghjzyq.wpengine.netdna-cdn.com/wpcontent/uploads/2018/05/French-delegation\\_Ubimobility-2018-Detroit-Final.pdf](http://1419891vq14j2fapah1bpghjzyq.wpengine.netdna-cdn.com/wpcontent/uploads/2018/05/French-delegation_Ubimobility-2018-Detroit-Final.pdf)

U.K. Department for Transport. (2015). *The Pathway to Driverless Cars: Code of Practice for Testing*. [assets.publishing.service.gov.uk/government/uploads/system/uploads/attachment\\_data/file/446316/pathway-driverless-cars.pdf](http://assets.publishing.service.gov.uk/government/uploads/system/uploads/attachment_data/file/446316/pathway-driverless-cars.pdf)

Ulrich, L. (2019). 2019 Audi A8 review: Tech-packed flagship delivers almost everything, except level 3 autonomy. *The Drive*, January 31. [www.thedrive.com/new-cars/26252/2019-audi-a8-review-tech-packed-flagship-sedan-delivers-almost-everything-except-level-3-autonomy](http://www.thedrive.com/new-cars/26252/2019-audi-a8-review-tech-packed-flagship-sedan-delivers-almost-everything-except-level-3-autonomy)

University of Toronto. (2019). News: Self-driving cars. [www.utoronto.ca/news/tags/self-driving-cars](http://www.utoronto.ca/news/tags/self-driving-cars)

University of Waterloo. (n.d.). *Centre for Automotive Research*. [uwaterloo.ca/centre-automotive-research/research-expertise/connected-andautonomous](http://uwaterloo.ca/centre-automotive-research/research-expertise/connected-andautonomous)

U.S. Defense Advanced Research Projects Agency. (n.d.). The grand challenge. [www.darpa.mil/about-us/timeline/-grand-challenge-for-autonomous-vehicles](http://www.darpa.mil/about-us/timeline/-grand-challenge-for-autonomous-vehicles)

Valeo (2015). *The Autonomous Car Takes to the Road*. Retrieved from [www.valeo.com/en/the-autonomous-takes-to-the-road](http://www.valeo.com/en/the-autonomous-takes-to-the-road)

Vasilash, G. (2018). Argo AI and getting Ford to Level 4 autonomy. *Autoblog*, September 8. [www.autoblog.com/2018/09/08/argo-ai-ford-level-4-autonomy-self-driving-car](http://www.autoblog.com/2018/09/08/argo-ai-ford-level-4-autonomy-self-driving-car)

VIA Technologies (2018). VIA partners with Lucid to develop industry-leading VIA Edge AI 3D developer kit powered by Qualcomm APQ8096SG embedded processor. [www.viatech.com/en/2018/11/via-partners-with-lucid-to-develop-industry-leading-via-edge-ai-3d-developer-kit](http://www.viatech.com/en/2018/11/via-partners-with-lucid-to-develop-industry-leading-via-edge-ai-3d-developer-kit)

WIPO (2019). WIPO Technology Trends 2019. *Artificial Intelligence*. Geneva: WIPO.

Wiggers, K. (2019) 5 companies are testing 55 self-driving cars in Pittsburgh. *Venture Beat*, April 26. [venturebeat.com/2019/04/26/5-companies-are-testing-55-self-drivingcars-in-pittsburgh](http://venturebeat.com/2019/04/26/5-companies-are-testing-55-self-drivingcars-in-pittsburgh)

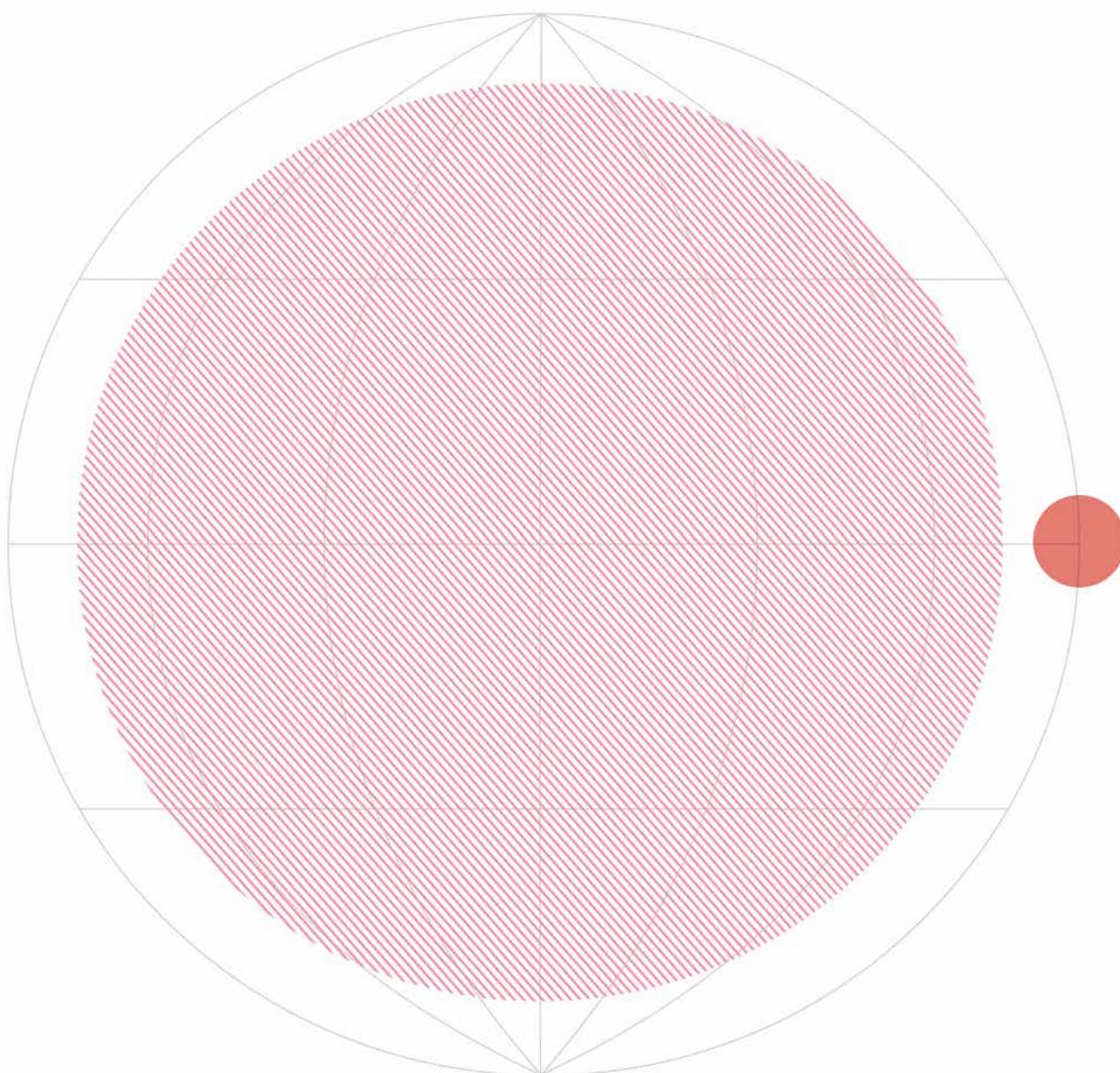
Xinhua (2019) Baidu's self-driving taxis to run in Changsha in late 2019. Xinhuanet.com, April 5. [www.xinhuanet.com/english/2019-04/05/c\\_137952253.htm](http://www.xinhuanet.com/english/2019-04/05/c_137952253.htm)

Zehtabchi, M. (2019). Measuring Innovation in the Autonomous Vehicle Technology. *WIPO Economic Research Working Paper No. 60*. Geneva: World Intellectual Property Organization.

Zucker, L.G. and M.R. Darby (1997). Present at the biotechnological revolution: transformation of technological identity for a large incumbent pharmaceutical firm. *Research Policy*, 26(4–5), 429–446.



Los beneficios de la innovación en biotecnología vegetal van mucho más allá del laboratorio. La innovación producida en un núcleo de invención metropolitano puede beneficiar a una superficie de tierra 75 veces mayor.



■ 200.000 km<sup>2</sup>

● NÚCLEO METROPOLITANO

▨ TERRENOS AGRÍCOLAS

# Biotecnología vegetal: la conexión entre la innovación urbana y su aplicación en el medio rural

Los seres humanos empezaron a realizar mejoras genéticas en las plantas miles de años antes de que se supiera qué son los genes. Alrededor del año 10.000 a. C., comenzaron a seleccionar y domesticar plantas a partir de la biodiversidad vegetal natural. Esas plantas se fueron diferenciando de sus antecesores silvestres mediante la propagación de material vegetal escogido concienzudamente, que se cultivaba para el uso y el consumo humanos.<sup>1</sup>

Las técnicas empleadas para seleccionar y propagar las variedades vegetales que presentan características deseables –es decir, los cultivares– se dividen de manera general en tres categorías: el método tradicional –que se inició con la domesticación–, el método convencional y el método moderno. Los tres se utilizan en la actualidad en mayor o menor medida.

El método convencional de creación de nuevas variedades agrícolas con nuevas características consiste en la reproducción sexual de dos variedades compatibles para generar descendientes mutados que presenten los rasgos biológicos deseados.<sup>2</sup> Con este método, suelen ser necesarios numerosos cruces a fin de lograr una combinación de genes apropiada que produzca el cultivo deseado. También es preciso que las plantas sean compatibles sexualmente.

Hoy en día, se pueden obtener nuevas variedades de cultivo mediante la biotecnología. Esta técnica moderna se vale del conocimiento de la constitución genética de la planta y se basa en la aplicación de diversos métodos de ingeniería genética para modificar el ácido desoxirribonucleico (ADN), formado por moléculas de nucleótidos que contienen las instrucciones genéticas para el desarrollo, el funcionamiento, el crecimiento y la reproducción de todos los organismos conocidos.

Se entiende por biotecnología “toda aplicación tecnológica que utilice sistemas biológicos y organismos vivos o sus derivados para la creación o modificación de productos o procesos para usos específicos”.<sup>3</sup> Puede abarcar asimismo el empleo de tecnologías y técnicas moleculares y celulares avanzadas. La biotecnología agrícola, tanto en el sentido más amplio como en el más restringido de su aplicación, aprovecha los descubrimientos y los instrumentos de investigación de una rama científica relativamente nueva.

La biotecnología está transformando la industria agrícola.<sup>4</sup> Gracias a ella se han obtenido cultivos resistentes a ciertas enfermedades, de mayor rendimiento, capaces de crecer en suelos de características extremas –como los áridos o los salinos– y que incluso llevan nutrientes incorporados.<sup>5</sup>

La innovación biotecnológica puede contribuir a aumentar la productividad y la calidad de la agricultura y, en última instancia, los ingresos de los agricultores de todo el mundo. También permite afrontar los problemas medioambientales que plantea el uso de plaguicidas químicos. Según Klümper y Qaim (2014), la adopción de la tecnología de modificación genética ha incrementado

15.000.000 km<sup>2</sup>

los beneficios de los agricultores a escala mundial en un 68% y el rendimiento de los cultivos en un 22%, y ha reducido la utilización de plaguicidas químicos en un 37%. Brookes (2018) estima que, por cada dólar de los EE.UU. adicional gastado en semillas de soja transgénica –soja que contiene genes de otro organismo– con respecto a las semillas convencionales, los ingresos del agricultor aumentan en 3,88 dólares de los EE.UU. Este aumento se debe a un mayor rendimiento obtenido a menor costo, gracias a la disminución de los controles de plagas y malas hierbas. La tecnología se contempla asimismo como una posible solución a los problemas mundiales del hambre y la pobreza.

En este capítulo se ilustra el funcionamiento de las redes mundiales de innovación mediante el ejemplo de la biotecnología agrícola, en concreto, la biotecnología vegetal.<sup>6</sup> A partir de la información contenida en los documentos de patentes y en las publicaciones científicas, se identifican los actores de la innovación y los centros en que esta se produce. Esas dos medidas complementarias de la actividad innovadora sirven además para mostrar los vínculos existentes entre los distintos centros de innovación.

En la primera sección del capítulo se reseña la evolución de la industria de la biotecnología vegetal y se señalan los factores que impulsan la innovación. La segunda sección está dedicada al desarrollo que ha experimentado la innovación en el sector y al aumento sin precedentes del número de países que participan en ella. En la penúltima sección se examinan las conexiones entre los centros de innovación de distintas partes del mundo. El capítulo concluye analizando las últimas novedades acontecidas en el sector y su incidencia en la transformación del panorama mundial de la innovación en biotecnología vegetal.

#### 4.1 La creciente importancia de la biotecnología vegetal

Por lo general, la biotecnología vegetal se aplica en tres ámbitos de la industria agrícola: i) fitomejoramiento y semillas, ii) salud y fertilidad del suelo y iii) plaguicidas y control de plagas.

La biotecnología se aplica al fitomejoramiento para obtener nuevas variedades y características por diversos métodos, entre los que figuran la hibridación, la fecundación cruzada (entrecruzamiento), la mutación, el cultivo de tejidos, la injertación y clonación de plantas,

la ingeniería genética y la modificación del genoma (el conjunto de información hereditaria codificada en el ADN de una planta). La mayor parte de la innovación tiene lugar en este ámbito.

La aplicación de la biotecnología a la salud y fertilidad del suelo se plasma en los biofertilizantes, elaborados mediante el cultivo y uso de microbios para la enmienda del terreno y el crecimiento de las plantas. Por último, en el ámbito de los plaguicidas y el control de plagas, la biotecnología se aplica a las estrategias de biocontrol, los bioplaguicidas y el mejoramiento de la resistencia a las plagas y la tolerancia a los herbicidas mediante ingeniería genética.

#### La introducción de la biotecnología en la agricultura

El origen de la biotecnología agrícola se remonta a 1866, cuando Gregor Mendel, un fraile agustino, formuló las leyes fundamentales de la herencia genética a partir de sus trabajos con plantas de arveja (o guisante). Sentó así las bases del fitomejoramiento científico y de la ingeniería genética.

Más adelante, los avances producidos en las décadas de 1920 y 1930 en relación con los métodos de mutación génica y cromosómica y el descubrimiento de la estructura de doble hélice del ADN en 1953 en Cambridge y Londres (Reino Unido) propiciaron un auge de la investigación genética: el estudio de los genes, la variación genética y la herencia de los organismos.

Pero fue el desarrollo de las tecnologías de ADN recombinante (ADNr) –la unión de fragmentos de ADN de dos organismos distintos– en bacterias por investigadores de las Universidades de Stanford y California (San Francisco, Estados Unidos), en 1974, lo que allanó el camino para la aplicación de la ingeniería genética a las plantas y otros organismos.

En el cuadro 4.1 figuran algunos de los descubrimientos revolucionarios y las innovaciones que constituyen el fundamento de los métodos biotecnológicos y sus aplicaciones actuales en biotecnología vegetal.

Las técnicas biotecnológicas comenzaron a aplicarse comercialmente en el campo de la medicina a mediados de la década de 1970; a la agricultura llegaron unos años más tarde.<sup>7</sup> Esta diferencia se debe en gran

## Breve reseña de los principales avances científicos en biotecnología

Cuadro 4.1 Grandes descubrimientos y avances científicos en biotecnología agrícola

Año	Descubrimiento o avance científico	Institución
1974	Stanley Cohen y Herbert Boyer desarrollan una técnica (ADNr) para unir fragmentos de ADN de distintos organismos que allanaría el camino a la ingeniería genética	Universidades de Stanford y California (San Francisco, California, EE.UU.)
1977	Walter Gilbert, con el estudiante de posgrado Allan Maxam, y Frederick Sanger idean por separado métodos de secuenciación de ADN	Universidad de Harvard (Cambridge, Massachusetts, EE.UU.) y Universidad de Cambridge (Reino Unido)
1981	George Willems y Robert Schilperoort modifican genéticamente por primera vez una planta (de tabaco) utilizando la bacteria <i>Agrobacterium</i> (véase el recuadro 4.1)	Universidad de Leiden (Países Bajos)
2000	Se publica la secuencia completa del genoma de <i>Arabidopsis thaliana</i> (una planta de pequeño tamaño), en el marco de la <i>Arabidopsis Genome Initiative</i>	Consortio de universidades e instituciones públicas de investigación de los EE.UU., el Japón y Europa
2012	Se desarrolla una nueva técnica de modificación del genoma (CRISPR-Cas9)	Universidades de California (Berkeley, California, EE.UU.) y Viena (Austria); <i>Massachusetts Institute of Technology</i> y Universidad de Harvard (Cambridge, Massachusetts, EE.UU.); Universidad de Vilna (Lituania)

Fuente: Basado en *Arabidopsis Genome Initiative* (2000), Babinard (2001), Swaminathan (2012) y Graff y Hamdan-Livramento (2019).

medida a que la biología molecular se ha desarrollado principalmente en facultades de medicina y centros médicos universitarios, en los que no se presta mucha atención a la agricultura.<sup>8</sup>

Sin embargo, a medida que la biotecnología fue cobrando peso en la medicina y la salud humana, comenzó a aplicarse a las ciencias veterinarias y, posteriormente, al fitomejoramiento. Se empleó antes en animales por su mayor proximidad genética a los humanos.<sup>9</sup>

A mediados de la década de 1980, la industria de la biotecnología agrícola ya había empezado a crecer. En los Estados Unidos, varias resoluciones judiciales históricas sobre la patentabilidad de los organismos vivos abrieron la puerta al patentamiento de plantas modificadas genéticamente.<sup>10</sup> A finales de la década, ya se habían iniciado ensayos de campo con plantas transgénicas en Australia, el Canadá, los Estados Unidos y algunos países europeos. También en México, una economía en desarrollo, comenzaron a realizarse ensayos de campo con cultivos transgénicos en esa misma época.<sup>11</sup>

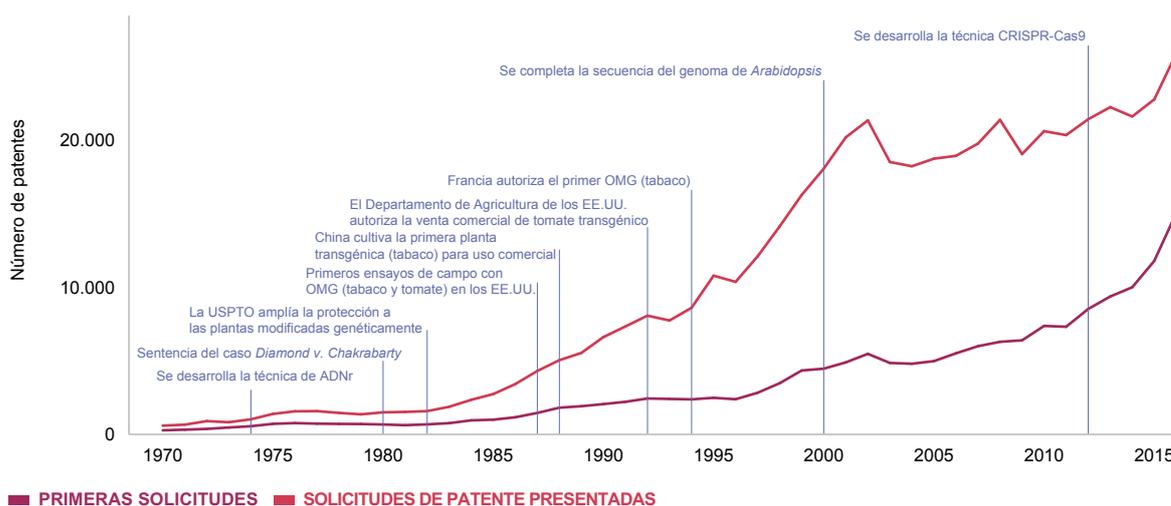
China fue el primer país que, en 1988, explotó comercialmente plantas transgénicas de tabaco resistentes a las plagas. Pero los agricultores chinos dejaron de cultivarlas a mediados de la década de 1990 ante la inquietud de muchas empresas tabaqueras por el uso de estos organismos mejorados genéticamente

en sus productos. En particular, a los consumidores les preocupaba que los cigarrillos se elaboraran con tabaco modificado genéticamente. Estos trascendentes acontecimientos coincidieron con un aumento del número de nuevas empresas especializadas en biotecnología agrícola, sobre todo en los Estados Unidos, durante las décadas de 1980 y 1990.

El gráfico 4.1 muestra el crecimiento de la demanda mundial de patentes de invenciones de biotecnología vegetal en el período 1970-2016. La línea de color rojo claro indica el número total de solicitudes de patentes de ese ámbito presentadas en distintas oficinas de propiedad intelectual de todo el mundo.<sup>12</sup> La línea de color rojo oscuro representa el número de solicitudes iniciales –o “primeras solicitudes”– de nuevas patentes de biotecnología vegetal. Las denominadas “solicitudes posteriores” corresponden a la diferencia entre el número total de solicitudes de patente presentadas y el número de primeras solicitudes. Dichas solicitudes posteriores son las que se presentan en otros países o jurisdicciones respecto de una misma invención. La creciente separación entre las dos líneas a partir de la década de 1980 indica que, cada vez con mayor frecuencia, los inventores solicitaban la protección por patente de sus invenciones en varios mercados. Y, lo que es más importante, también indica que las invenciones de biotecnología vegetal iban adquiriendo relevancia comercial en todo el mundo.

## El auge de la ingeniería genética coincidió con un aumento de las solicitudes posteriores de patente

Gráfico 4.1 Solicitudes de patente de biotecnología vegetal presentadas (1970-2016)



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

### ¿Qué condiciona la innovación en este ámbito?

La innovación en la industria de la biotecnología vegetal se ve condicionada por las políticas, las normativas y las reglamentaciones. En ellas se regula la disponibilidad de los derechos de propiedad intelectual como mecanismo para asegurar la rentabilidad de las inversiones en innovación, así como los aspectos de salud y seguridad y protección del medio ambiente, entre otros.

#### Una adecuada rentabilidad de las inversiones

En la mayor parte de las jurisdicciones no se permite patentar nada que exista en la naturaleza, en particular organismos vivos. Sin embargo, con los nuevos avances de la biotecnología, los límites se han difuminado.<sup>13</sup>

La preocupación por la patentabilidad de las innovaciones en biotecnología agrícola es semejante a la que suscita el patentamiento en el campo de la biotecnología en general.<sup>14</sup> La concesión de derechos exclusivos sobre los instrumentos de investigación puede suponer un freno a la continuidad de la innovación.<sup>15</sup> Las patentes de biotecnología agrícola pueden dificultar el acceso de las economías más pobres a

investigaciones que ayuden a combatir la pobreza y a afrontar el hambre en el mundo. Quienes las critican argumentan que la mayor parte de las patentes concedidas son demasiado amplias y pueden vulnerar otras tecnologías patentadas, como indica el considerable volumen de litigios que se observa en el sector.

En la década de 1980 se produjeron dos cambios en la política de propiedad intelectual de los Estados Unidos que influyeron decisivamente en la configuración de la industria nacional de biotecnología agrícola. En particular, reforzaron el uso de la propiedad intelectual como un medio para garantizar la adecuada rentabilidad de las inversiones en innovación.<sup>16</sup>

El primero de esos cambios fue la aprobación de la Ley Bayh-Dole en 1980. Dicha ley permite patentar la investigación llevada a cabo en universidades, aunque haya sido financiada por los contribuyentes. El segundo cambio fue la ampliación de la protección por patente a los organismos modificados genéticamente (OMG) a raíz del emblemático caso *Diamond v. Chakrabarty*, resuelto por el Tribunal Supremo de los Estados Unidos también en 1980.<sup>17</sup> En 1985, la Oficina de Patentes y Marcas de los Estados Unidos (USPTO) ya había ampliado la protección por patente a las plantas modificadas genéticamente. Europa y el resto del mundo pronto siguieron su ejemplo.

En 1995 se creó la Organización Mundial del Comercio (OMC), lo que supuso la instauración de normas vinculantes internacionalmente para la protección de los derechos de propiedad intelectual en los países firmantes. A partir de entonces, numerosas empresas multinacionales solicitaron patentes para sus invenciones de biotecnología vegetal. Pero en algunas economías en desarrollo, como el Brasil, la patentabilidad de ciertos productos de biotecnología vegetal, en particular los relacionados con semillas o nuevas variedades vegetales, está restringida. Por ello, el sector privado del Brasil recurre a derechos *sui generis* para proteger sus innovaciones.<sup>18</sup> En algunos casos, las patentes solicitadas no se refieren al resultado biotecnológico sino al propio proceso de desarrollo o a los activos complementarios –infraestructura, capacidades u otras invenciones– que dan lugar al producto final de biotecnología agrícola.<sup>19</sup>

### Protección de los consumidores y del medio ambiente

La creciente importancia comercial de la biotecnología vegetal llevó a las entidades reguladoras gubernamentales y al público a cuestionarse la manera de verificar que las plantas transformadas deliberadamente –los cultivos transgénicos– no resultan perjudiciales para la salud humana o el medio ambiente.

Existen varios niveles de reglamentación del uso de la biotecnología vegetal, tanto a escala nacional como internacional.<sup>20</sup> Su objetivo es garantizar que los OMG satisfagan las normas de seguridad biológica y alimentaria y de protección del consumidor. Algunos ejemplos de ámbito internacional son el Codex Alimentarius de las Naciones Unidas –en el que se establecen normas de seguridad alimentaria–, el Protocolo de Cartagena sobre Seguridad de la Biotecnología –un acuerdo internacional en el que se brindan directrices para la reglamentación de la bioseguridad– y el Convenio de Aarhus –otro acuerdo internacional que otorga al público el derecho de acceder a la información sobre las decisiones políticas en materia de medio ambiente–.<sup>21</sup>

A escala nacional, para que una nueva planta transgénica pueda cultivarse comercialmente, deben cumplirse, al menos y por lo general, los tres procesos normativos siguientes: i) autorización para realizar ensayos de campo; ii) autorización para la

explotación con fines comerciales; y iii) autorización para la venta y comercialización a consumidores. En los Estados Unidos, los organismos competentes son el Departamento de Agricultura (USDA) y la Agencia de Protección del Medio Ambiente (EPA) para la autorización de los ensayos de campo, y la Administración de Alimentos y Medicamentos (FDA) para la autorización comercial.

En Europa se han producido importantes avances en biotecnología vegetal. A principios de la década de 1990, Bélgica, Francia y el Reino Unido se encontraban entre los cinco primeros países del sector y, junto con los otros dos –el Canadá y los Estados Unidos–, albergaban cerca del 95% de los cultivos transgénicos comercializados. Sin embargo, la actitud hacia los cultivos transgénicos en Europa varió notablemente coincidiendo con el cambio de siglo.<sup>22</sup>

Entre 1998 y 2004, la Comisión Europea –el brazo ejecutivo de la Unión Europea– y cinco Estados miembros impusieron una moratoria *de facto* de la autorización de OMG.<sup>23</sup> A partir de 2003, la Comisión Europea dictó varios reglamentos y directivas sobre OMG.<sup>24</sup> Durante la moratoria, la Comisión Europea estableció diferencias entre las plantas cuyos genes se habían modificado con métodos de fitomejoramiento convencional y las modificadas genéticamente con herramientas biotecnológicas (véase el recuadro 4.1). Las medidas prescritas incluían requisitos específicos para la realización de ensayos de campo y el cultivo de plantas transgénicas y para la importación, el uso y el etiquetado de los productos con OMG.

Más allá de las enérgicas campañas políticas contra los OMG organizadas por grupos medioambientales y de consumidores, se han planteado diversas explicaciones comerciales para este cambio en la actitud de Europa hacia los cultivos transgénicos. Graff y Zilberman (2007) sostienen que el potente sector agroquímico europeo disfrutaba de una ventaja comparativa y quería obstaculizar el acceso de competidores al mercado. Sheldon (2004) sugiere que los agricultores de la Unión Europea vieron en las medidas que limitan la autorización de plantas modificadas genéticamente una oportunidad para impedir la entrada de productos agrícolas del resto del mundo en el mercado.

Sea como fuere, puede decirse que la reglamentación de la Unión Europea ejerció un efecto disuasorio en la investigación y el desarrollo de la biotecnología agrícola en el continente.

#### Recuadro 4.1 Principales diferencias entre las técnicas de fitomejoramiento

Los caracteres deseados se pueden introducir de dos maneras distintas, según el tipo de planta. En las dicotiledóneas –plantas de hoja ancha como el algodón, la soja y el tomate– se emplea la bacteria *Agrobacterium tumefaciens* para provocar transformaciones. En la naturaleza, esta bacteria infecta las plantas e inserta parte de su propio ADN en el ADN de la planta. La bacteria se modifica a fin de excluir los caracteres no deseados e incorporar el gen de interés, y se infecta con ella la planta. A continuación, se identifican las células de esta que presentan el nuevo gen –el transgén– y se someten a técnicas de cultivo celular hasta obtener una planta completa, cuyo ADN contiene ahora el transgén.

Para transformar las plantas monocotiledóneas –especies herbáceas como el maíz, el trigo y el arroz–, se disparan sobre el genoma partículas de tungsteno recubiertas de un ADN foráneo. Parte del ADN se desprende y se incorpora al ADN de la planta receptora. Las células transformadas de este modo también se pueden identificar y cultivar hasta obtener una planta completa que contiene el ADN foráneo.

Las diferencias entre el fitomejoramiento convencional tradicional y el fitomejoramiento moderno se limitan al control del proceso. Los resultados del fitomejoramiento convencional tradicional suelen

ser impredecibles. Los obtentores eligen para el cruzamiento progenitores que presentan las características deseadas, pero puede que sus descendientes no incluyan esos caracteres en el genotipo o no expresen el fenotipo deseado.

Las técnicas modernas de fitomejoramiento, como la ingeniería genética, permiten transferir selectivamente las características deseadas –el transgén– y crear nuevas plantas transgénicas de manera eficiente y rápida. Las plantas transgénicas son, por consiguiente, organismos modificados genéticamente (OMG). Con las técnicas modernas se simplifica el proceso de fitomejoramiento, porque ya no es necesario recurrir a plantas que sean compatibles sexualmente y se pueden seleccionar caracteres de cualquier organismo viviente. Las características deseadas pueden provenir de la misma especie o de una distinta, o, incluso, de una modificación de la expresión de los propios genes de la planta. La creación de nuevas plantas mediante selección del gen deseado y su inserción en el ADN es un método preciso que evita la aparición de características secundarias inconvenientes, algo habitual en el fitomejoramiento convencional tradicional. Además, las técnicas modernas de fitomejoramiento permiten obtener nuevas variedades de cultivo en menos tiempo que las tradicionales.

Fuente: FAO (2004) y Persley y Siedow (1999).

En el gráfico 4.2 se muestra el porcentaje de solicitudes de patente presentadas en los Estados Unidos (en rojo oscuro) y en varios países europeos (en rojo claro y rosa) respecto del total de solicitudes de patente de biotecnología vegetal presentadas en todo el mundo.<sup>25</sup> Hasta finales de la década de 1990, la proporción de solicitudes de patente de biotecnología vegetal presentadas en los Estados Unidos y en la Unión Europea creció a un ritmo parecido. Sin embargo, a partir de 1997 se observa una creciente desigualdad en este aspecto. Es difícil determinar de manera concluyente si esta diferencia se debe a la moratoria *de facto* que se implantó en Europa. No obstante, desde 1998, el índice de presentación de solicitudes de patentes de biotecnología agrícola en los países de la Unión Europea ha sido bastante similar al del total de solicitudes, o algo menor.

Fuentes del sector informan de que la postura de la Unión Europea sobre los cultivos transgénicos ha

influido en las estrategias empresariales. Según un estudio realizado por el Servicio Exterior de Agricultura del Departamento de Agricultura de los Estados Unidos (USDA), muchas empresas europeas han reubicado sus actividades de investigación y desarrollo (I+D) en los Estados Unidos o en otros países fuera de Europa. Si bien las instituciones públicas y las universidades europeas continúan realizando investigación básica sobre fitogenética, la probabilidad de que sus resultados lleguen al mercado de la Unión Europea es escasa. En el estudio se señala además que un gran número de empresas europeas de biotecnología han desplazado su atención de los usos agrícolas a las aplicaciones industriales de medicamentos y biocombustibles.<sup>26</sup> La empresa química alemana BASF, una de las principales multinacionales europeas del sector, interrumpió el desarrollo y la comercialización de cultivos transgénicos para la Unión Europea en 2012.<sup>27</sup>

## Las solicitudes de patentes de biotecnología agrícola en los Estados Unidos han aumentado a mayor ritmo que en Europa

Gráfico 4.2 Porcentaje de solicitudes de patentes de biotecnología vegetal respecto del total de solicitudes de patentes por origen (1970-2016)



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

### ¿Quién impulsa la innovación?

Son las inversiones, tanto del sector público como del privado, las que impulsan la innovación en la industria de la biotecnología vegetal.

#### Fuerte empuje del sector público en investigación agrícola

El sector público desempeña un papel primordial en la investigación en biotecnología vegetal, ya que aporta y financia la considerable infraestructura necesaria. En los principales documentos de política e informes publicados, tanto en Europa como en los Estados Unidos, se subraya la importancia de invertir en investigación sobre ingeniería genética.<sup>28</sup>

Los científicos y los investigadores de las instituciones públicas de investigación han realizado descubrimientos notables que han allanado el camino a la ingeniería genética. La ciencia básica sigue siendo importante para la innovación en biotecnología vegetal. Por ejemplo, los cruciales avances efectuados en biología molecular y genética han permitido detectar y seleccionar genotipos determinados de manera más eficiente. Por

otra parte, el desarrollo de la tecnología de modificación de genes CRISPR-Cas9 ha reducido significativamente los costos en el campo de la ingeniería genética.<sup>29</sup>

Los centros de investigación agrícola y las universidades especializadas en ciencias agrarias desempeñan una función fundamental en cuanto a la adaptación de la investigación y la difusión de las innovaciones en biotecnología agrícola. La misión de estos centros de investigación consiste en contribuir con su labor al progreso de la agronomía, al mejoramiento genético de los cultivos y a la innovación agrícola en general. La financiación para esta labor investigadora procede de gobiernos, fundaciones y diversos organismos intergubernamentales y organizaciones sin fines de lucro. El firme mandato de estas instituciones y el apoyo financiero que reciben garantizan la importancia y la continuidad del trabajo que llevan a cabo.

En los Estados Unidos, la Ley Morrill de 1862 estableció la cesión de terreno público para construir centros universitarios en los que se enseñara agricultura y se promoviera su desarrollo, adjudicando 30.000 acres (121,4 km<sup>2</sup>) de suelo federal en todo el país para tal fin. La financiación federal de dichos centros universitarios quedó asegurada con la segunda Ley Morrill, promulgada en 1890.

A raíz del éxito de estas universidades erigidas mediante cesión de terreno público, se crearon centros de investigación similares en países de economías emergentes.<sup>30</sup> Las dos primeras instituciones de este tipo fueron el Centro Internacional de Mejoramiento de Maíz y Trigo (CIMMYT), en Ciudad de México (México), y el Instituto Internacional de Investigación del Arroz (IRRI), en Los Baños (Filipinas). Estos dos sistemas nacionales de investigación agrícola (SNIA) se integraron posteriormente en el Grupo Consultivo sobre Investigaciones Agrícolas Internacionales (CGIAR), una organización que engloba 15 centros de investigación, independientes y sin fines de lucro, orientados a la innovación en agricultura. El CGIAR ha marcado la evolución de la innovación en biotecnología agrícola, especialmente en lo que atañe al desarrollo de cultivos por métodos genéticos.

La innovación agrícola ha de adaptarse a las diferentes condiciones agroecológicas regionales, en particular a la combinación de suelo, configuración del terreno y características climáticas.<sup>31</sup> Por ello, las plantas transgénicas deben obtenerse a partir de cultivares locales y evaluarse *in situ*. En muchos países en desarrollo, el mantenimiento de esos cultivares y germoplasmas —recursos genéticos vivos destinados a la producción o preservación de animales o plantas— corre a cargo de instituciones públicas, como los SNIA o los centros internacionales de investigación agrícola (CIIA).<sup>32</sup>

La colaboración entre instituciones públicas es importante, sobre todo de cara a la comercialización de OMG en economías menos desarrolladas. La mayor parte de las plantas transgénicas que se cultivaban en esos países a finales de la década de 1990 procedían de germoplasmas de sus homólogas norteamericanas adaptados a las condiciones locales.<sup>33</sup> En los países más pobres, los CIIA pueden funcionar como nodos de las redes mundiales de innovación, conectando a científicos agrícolas y obtentores de un gran número de SNIA, incluidas las universidades especializadas en investigación agrícola de todo el mundo.

La innovación en biotecnología vegetal puede servir para afrontar los problemas de escasez de alimentos y seguridad alimentaria.<sup>34</sup> Por ello, los avances cuentan con el decidido apoyo del sector público, las organizaciones intergubernamentales y los organismos e instituciones sin fines de lucro, con objeto de promover su difusión en el resto del mundo.<sup>35</sup>

En muchas economías emergentes, los gobiernos financian la mayor parte de la investigación agrícola.

En algunos casos, como China, la India y el Brasil, el gasto del sector público en I+D agrícola ha crecido con rapidez. En China casi se multiplicó por diez entre 1990 y 2013, pasando de 1.000 millones de dólares de los EE.UU. a más de 9.000 millones.<sup>36</sup> En ese mismo período, el gasto de la India se triplicó, pasando de menos de 1.000 millones de dólares de los EE.UU. a cerca de 3.000 millones, y el del Brasil casi se duplicó, pasando de menos de 2.000 millones de dólares de los EE.UU. a cerca de 3.000 millones. Por el contrario, en los Estados Unidos, el gasto del sector público en agricultura, que era de unos 4 000 millones de dólares de los EE.UU. en 1990, experimentó un aumento moderado y disminuyó a partir de 2003.

Sin embargo, numerosas economías emergentes, en especial aquellas con una limitada capacidad de innovación en biotecnología vegetal y las que carecen de recursos financieros para la investigación en este ámbito, suelen depender de la labor de los SNIA o los CIIA.<sup>37</sup>

### Incentivos apoyados en la consolidación del mercado

En los primeros años, el mercado de la biotecnología vegetal estaba dominado por pequeñas empresas emergentes de origen universitario. Pero, a partir de 1990, muchas de ellas fueron adquiridas por multinacionales. Según un estudio, prácticamente el 90% de los acuerdos de investigación y desarrollo relativos a biotecnología agrícola se establecieron entre empresas emergentes y grandes multinacionales.<sup>38</sup>

Por otro lado, en los sectores químico, de las semillas y de los fertilizantes se ha registrado una notable concentración del mercado, tanto en países ricos como en países pobres.<sup>39</sup> Los motivos son múltiples. Los elevados costos fijos de la comercialización de plantas transgénicas requieren grandes recursos financieros, de los que carecen muchas empresas de nueva creación. Esos elevados costos fijos implican, además, una intensiva utilización de los derechos de propiedad intelectual para garantizar la rentabilidad de la inversión. Al igual que en la industria de los semiconductores, la acumulación de tecnologías patentadas de biotecnología vegetal puede suponer un obstáculo para la innovación. Pero es menos probable que las empresas que colaboran entre sí infrinjan sus respectivas propiedades intelectuales. Así, Monsanto, BASF, Dow Chemical, Bayer, DuPont y Syngenta suscribieron

licencias recíprocas de sus respectivos derechos de propiedad intelectual sobre plantas transgénicas.<sup>40</sup>

En 2001, 30 empresas independientes de la industria agroquímica y de la industria de las semillas se habían reducido a seis: Monsanto, DuPont, Syngenta (con sede en Suiza), Bayer, Dow Chemical y BASF. Las cuatro mayores representan cerca del 60% del mercado de la biotecnología agrícola. Los principales grupos empresariales del sector agroquímico y de las semillas son Bayer CropScience y BASF en Alemania, Corteva Agriscience en los Estados Unidos y ChemChina (que compró Syngenta en 2017) en China.

Esta concentración de la innovación en biotecnología agrícola en manos de unos pocos no se ha traducido forzosamente en una reducción de la actividad innovadora.<sup>41</sup>

En el cuadro 4.2 se exponen las principales alianzas, en particular fusiones y adquisiciones, entre las multinacionales agroquímicas y de semillas. En él se observa que la concentración del sector ha aumentado desde la década de 1990.

### La necesaria colaboración entre el sector público y el sector privado

Un sondeo entre empresas de biotecnología vegetal de los Estados Unidos realizado por Zilberman *et al.* (1997) reveló una abundante colaboración entre el sector público y el privado. Según este estudio, en la mayor parte de las innovaciones en biotecnología vegetal, las universidades habían realizado un descubrimiento importante y el sector privado había desarrollado y comercializado la innovación. Esta modalidad de colaboración entre los sectores público y privado continúa vigente.

Las grandes multinacionales químicas y de semillas comercializaron y cultivaron las principales plantas transgénicas obtenidas mediante modificación genética en los primeros años.<sup>42</sup> La única excepción es el algodón *Bacillus thuringiensis* (*Bt*), que fue desarrollado por el Centro de Investigación Biotecnológica de la Academia de Ciencias Agrícolas de China (CAAS), una institución pública de investigación radicada en Shenzhen. No obstante, la CAAS se asoció con empresas de los Estados Unidos –Monsanto y Delta & Pine Land– y de China –la compañía provincial de semillas de Hebei– para comercializar el algodón *Bt*.

Los agricultores chinos pudieron disponer de esta planta transgénica en 1997.<sup>43</sup>

Para innovar en biotecnología agrícola es preciso acceder a activos complementarios, lo que implica la colaboración entre innovadores. Y, para comercializar los resultados de la investigación llevada a cabo en universidades o instituciones públicas, ya sea en las economías desarrolladas o en desarrollo, puede ser necesaria una mayor asistencia del sector privado. Como muestra puede citarse el algodón *Bt* chino, pero lo mismo sucede en numerosos proyectos conjuntos de investigación entre laboratorios universitarios de investigación y empresas privadas.

En muchas economías en desarrollo se dan algunos casos de colaboración entre los SNIA y grandes multinacionales con el fin de crear plantas transgénicas adaptadas a la región.<sup>44</sup> Cuando esas instituciones públicas han de acceder a instrumentos de investigación biotecnológica patentados para realizar su labor investigadora, necesitan la colaboración de los titulares de los derechos de propiedad intelectual. Un ejemplo de esta colaboración es la concesión de licencias de tecnologías patentadas pertenecientes a empresas privadas.<sup>45</sup> Otro ejemplo es la adquisición de tecnología a un costo convenido. Los fondos para pagar a la empresa pueden provenir de países donantes. Asimismo, entre un CIIA de una economía en desarrollo y una empresa privada puede establecerse una colaboración exenta de regalías o con unas regalías razonables.<sup>46</sup> Por ejemplo, el Centro Internacional de la Papa del Perú suscribió acuerdos con Plant Genetics Systems, una empresa belga adquirida más tarde por Bayer CropScience, para utilizar los genes *Bt* en los ensayos de su línea de papas modificadas genéticamente.<sup>47</sup>

Las empresas privadas pueden colaborar en investigación con los SNIA o los CIIA a cambio de los derechos exclusivos de comercialización de la tecnología resultante en los mercados desarrollados. Las economías en desarrollo pueden acceder a esa tecnología a un precio preferente. Otra posibilidad es adoptar un enfoque mixto respecto de la propiedad intelectual, de modo que la empresa privada presente solicitudes de patente únicamente en los mercados desarrollados.

El sector privado también ha entablado colaboraciones. Tal es el caso de las grandes empresas del sector biológico que, para producir innovaciones, necesitan acceder a reservas de germoplasma administradas por

distintos CIIA y SNIA. El CGIAR se ha comprometido a que su colección de germoplasma siga siendo de dominio público. Mediante el acceso a esta reserva de germoplasma podrían crearse diversas versiones de plantas transgénicas para ser cultivadas en distintas partes del mundo.

La creciente necesidad de colaboración entre los sectores público y privado conlleva algunos cambios en el uso de la propiedad intelectual. Las instituciones de investigación de muchas economías emergentes evitaban recurrir al sistema de propiedad intelectual y, en su lugar, se centraban en velar por que los conocimientos pudieran compartirse con facilidad. Pero esta actitud ha variado. La colaboración entre los dos sectores –ya sea para contribuir a la comercialización (en el caso de las instituciones de investigación) o para disponer de fuentes de germoplasma y cultivares (en el caso del sector privado)– requiere un enfoque mixto de la propiedad intelectual.

Los datos obtenidos de los documentos de patente indican que el número de colaboraciones entre los sectores público y privado va en aumento. Por término medio, solo el 18% de las patentes de biotecnología vegetal corresponden a solicitudes conjuntas.<sup>48</sup> No obstante, esa cifra es inferior al porcentaje real de actividades de colaboración –pues no todas las colaboraciones se traducen en invenciones patentadas– y no incluye la totalidad de las colaboraciones entre distintas filiales de grandes multinacionales porque, por lo general, en las solicitudes de patente presentadas por estas figura la sede como único solicitante. Además, parte de las colaboraciones público-privadas tienen lugar durante la fase de comercialización –por ejemplo, durante los ensayos de campo– y no suelen quedar reflejadas en las patentes o las publicaciones científicas.

El gráfico 4.3 muestra el número de solicitudes conjuntas con participación de los sectores público y privado. Se observa que la proporción de solicitudes en las que al menos un solicitante pertenece al sector público tiende a aumentar desde 1999.

## El sector ha experimentado una notable concentración

### Cuadro 4.2 Principales alianzas producidas en el sector (1996-2016)

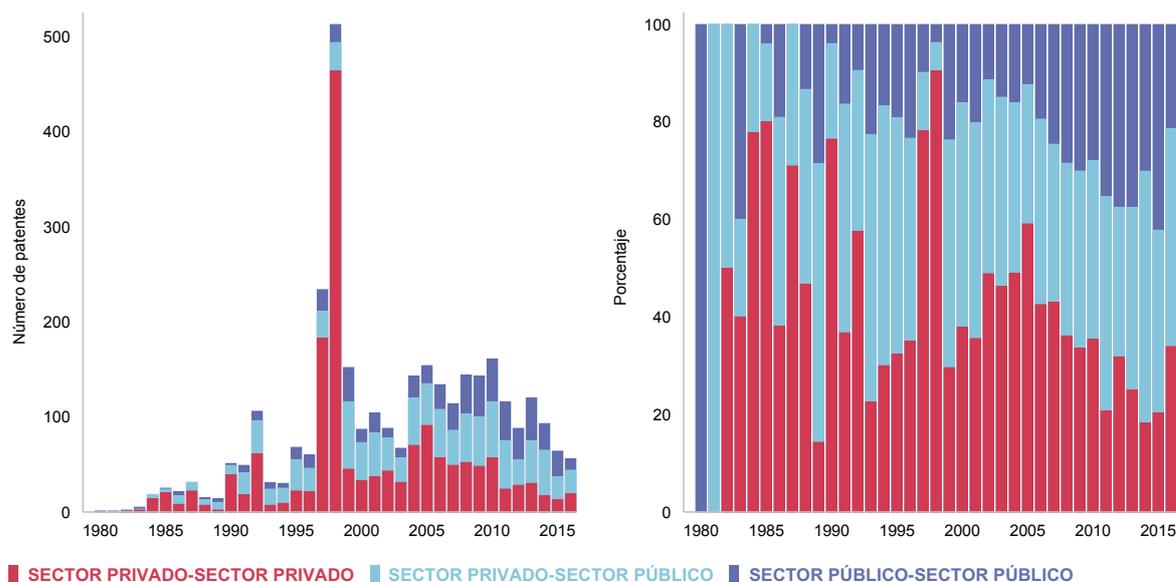
Bayer (Alemania) adquiere Monsanto (EE.UU.) en 2016	
<p><b>Monsanto (EE.UU.) (se fusiona con Pharmacia en marzo de 2000 y se escinde por completo en agosto de 2002)</b></p> <p><b>Biotecnología</b></p> <ul style="list-style-type: none"> <li>Agracetus (EE.UU.) (1995)</li> <li>Calgene (EE.UU.) (1996)</li> <li>Ecogen (EE.UU.) (2003)</li> <li>Empresa conjunta con Millennium Pharmaceuticals (EE.UU.) (1998)</li> <li>Paradigm Genetics (EE.UU.) (2000) (pasa a denominarse Icoria en 2004)</li> </ul> <p><b>Semillas</b></p> <ul style="list-style-type: none"> <li>DeKalb (EE.UU.) (1996)</li> <li>Asgrow (EE.UU.) (1997)</li> <li>Holden's Foundation Seeds (EE.UU.) (1997)</li> <li>Cargill International Seeds, Plant Breeding International (EE.UU.) (1998)</li> <li>Delta &amp; Pine Land (EE.UU.) (alianza en 1994; adquirida en 2007)</li> <li>Sensako, Carnia (Sudáfrica) (2002); posteriormente se integran en DeKalb</li> <li>Seminis (EE.UU.) (2005)</li> <li>Emergent Genetics (EE.UU.) (2005)</li> <li>Adquiere De Ruiter (Países Bajos) y Peotec Seeds S.r.l. (Italia) en 2008 a través de Seminis</li> </ul>	<p><b>Bayer (Alemania) (adquiere Aventis CropScience en 2001)</b></p> <p><b>Agroquímica</b></p> <ul style="list-style-type: none"> <li>Hoechst (química, Alemania) se fusiona con Schering (farmacéutica, Alemania) para crear Hoechst Schering AgrEvo (1994) (Düsseldorf, Alemania)</li> <li>Hoechst Schering AgrEvo y la división agroquímica de Rhône-Poulenc (farmacéutica, Francia) se fusionan para formar Aventis CropScience (1999)</li> <li>Bayer adquiere Aventis CropScience en agosto de 2002</li> </ul> <p><b>Biotecnología</b></p> <ul style="list-style-type: none"> <li>Plant Genetic Systems (PGS) (Bélgica) (es adquirida por AgrEvo en 1996 y se integra en Monsanto en 2002)</li> <li>PlanTech (Japón) (1999)</li> <li>Lion Biosciences (11,3%, 1999)</li> <li>Limagrain (Francia) (adquiere el negocio de semillas en el Canadá en 2001)</li> </ul> <p><b>Semillas</b></p> <ul style="list-style-type: none"> <li>Nunhems, Vanderhave (Países Bajos), Plant Genetic Systems (Bélgica), Pioneer Vegetable Genetics, Sunseeds (EE.UU.) (1997)</li> <li>Nunza (plantas hortícolas), Proagro (India) y dos empresas de semillas del Brasil (1999)</li> <li>Fibermax (empresa conjunta con Cotton Seed Inc. de Australia en 2000)</li> </ul>

Fuente: Actualizado a partir de Pray y Naseem (2003).

ChemChina (China) adquiere Syngenta (Suiza) en 2017	Corteva Agriscience (EE.UU.), empresa derivada creada en 2019 a raíz de la fusión de DuPont y Dow (2015)		BASF (Alemania)
Syngenta (Suiza)	Dow Chemical (EE.UU.) y Dow AgroSciences (EE.UU.)	DuPont (EE.UU.)	
<p><b>Agroquímica</b></p> <ul style="list-style-type: none"> <li>CibaGeigy y Sandoz se fusionan para formar Novartis (Suiza) (1996)</li> <li>Novartis (Suiza) adquiere el negocio de plaguicidas de Merck por 910 millones de dólares de los EE.UU. (1997)</li> <li>Fusión de la división agrícola de Novartis (Suiza) y la agroquímica de AstraZeneca (Reino Unido) para formar Syngenta (Suiza) (1999)</li> </ul> <p><b>Biotecnología</b></p> <ul style="list-style-type: none"> <li>Zeneca Agrochemicals (Reino Unido) adquiere Modern International N.V. (Países Bajos) (1997)</li> <li>Alianza con Japan Tobacco (Japón) respecto del arroz (1999)</li> <li>Alianza con Diversa (EE.UU.) (2003)</li> <li>Zeneca (farmacéutica, Reino Unido) adquiere PSA Genetics (a través de su filial Garst) en 1999</li> </ul> <p><b>Semillas</b></p> <ul style="list-style-type: none"> <li>La fusión entre NorthrupKing y Ciba Seeds aglutina a S&amp;G Seeds, Hilleshog y Rogers Seed Co. (1997)</li> <li>ICI (Imperial Chemical Industries, farmacéutica y agroquímica, Reino Unido) se divide en Zeneca (que incluye ICI Seeds) e ICI PLC (1993)</li> <li>Garst (EE.UU.) resurge como empresa de Zeneca (1996)</li> <li>A través de Garst (EE.UU.), Zeneca (Reino Unido) adquiere Agripro Seeds (EE.UU.) (1998) y Gutwein Seeds (2000)</li> </ul>	<p><b>Agroquímica</b></p> <ul style="list-style-type: none"> <li>Dow adquiere la participación de Eli Lilly (EE.UU.) del 40% de Dow Elanco por 900 millones de dólares de los EE.UU. (1997)</li> <li>Rohm and Haas Agricultural Chemicals (EE.UU.) (2001)</li> </ul> <p><b>Biotecnología</b></p> <ul style="list-style-type: none"> <li>Mycogen (EE.UU.) (1996)</li> <li>Ribozyme Pharmaceuticals Inc. (EE.UU.) (1999)</li> <li>Contrato con Proteome Systems Ltd. (Australia) (1999)</li> </ul> <p><b>Semillas</b></p> <ul style="list-style-type: none"> <li>Mycogen adquiere Agrigenetics (EE.UU.) (1992)</li> <li>United AgriSeeds (EE.UU.) se integra en Mycogen (1996)</li> <li>Mycogen (EE.UU.) se asocia con Boswell (EE.UU.) respecto de las semillas de algodón para formar Phytogen (1998)</li> <li>Empresa conjunta con Danisco Seeds (Dinamarca) (1999)</li> <li>Acuerdo con Illinois Foundation Seeds (EE.UU.) (1999)</li> <li>Cargill Hybrid Seeds (EE.UU.) (2000)</li> </ul>	<p><b>Biotecnología</b></p> <ul style="list-style-type: none"> <li>Alianza con Human Genome Sciences (EE.UU.) (1996)</li> <li>Alianza con Curagen (EE.UU.) (1997)</li> <li>Verdia es adquirida a Maxygen (EE.UU.) por 65 millones de dólares de los EE.UU. (2004)</li> </ul> <p><b>Semillas</b></p> <ul style="list-style-type: none"> <li>Pioneer (EE.UU.) (1997, 20%)</li> <li>Hybrinova (Francia) (1999)</li> </ul>	<p><b>Agroquímica</b></p> <ul style="list-style-type: none"> <li>Adquiere el negocio de herbicidas para el maíz de Sandoz (Suiza) (1996)</li> <li>Adquiere American Cyanamid (EE.UU.), la filial de protección de cultivos de American Home Products, por 3.800 millones de dólares de los EE.UU. (2000)</li> </ul> <p><b>Biotecnología</b></p> <ul style="list-style-type: none"> <li>Se asocia con el Instituto de Fitogenética e Investigación Agrícola (IPK, Alemania) para crear SunGene (Alemania) (1998)</li> <li>Empresa conjunta con el Instituto Max Planck (Alemania) y Metanomics (Alemania) (1997)</li> </ul> <p><b>Semillas</b></p> <ul style="list-style-type: none"> <li>Adquiere el 40% de Svalöf Weibull (Suecia) (1999)</li> </ul>

## El sector privado es el principal motor de la innovación en biotecnología agrícola, pero las colaboraciones público-privadas y dentro del sector público van en aumento

Gráfico 4.3 Solicitudes conjuntas de patentes por número (izquierda) y por proporción (derecha) (1980-2016)



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

### 4.2 El panorama de la innovación en biotecnología vegetal

La innovación en biotecnología vegetal se distribuye de manera relativamente amplia por todo el mundo. En el gráfico 4.4 se representa el panorama de la innovación mediante dos indicadores indirectos de las actividades de innovación –las patentes y las publicaciones científicas, en particular, artículos y actas de conferencias (véanse los capítulos 1 y 2)– en los períodos 1998-2007 (arriba) y 2008-2017 (abajo).

En él se observa la evolución de las regiones innovadoras del sector y la correlación existente entre la presentación de solicitudes de patentes y las publicaciones científicas, al menos en los principales polos de biotecnología vegetal. Los cuatro primeros países en cuanto a actividades de innovación en biotecnología vegetal son Alemania, China, los Estados Unidos y el Japón. La quinta posición la ocupan Suiza en actividad de patentamiento y Francia en publicaciones científicas.

En el gráfico 4.4 se observa asimismo que en algunas regiones se prefiere el patentamiento, mientras que en otras predominan las publicaciones científicas. En los Estados Unidos, Europa, el Japón y China

se registra más actividad de patentamiento, pero, por lo general, en los países en desarrollo hay más zonas en las que las publicaciones científicas tienen mayor protagonismo.<sup>49</sup>

La diferencia en producción innovadora que se observa en el gráfico 4.4 respecto de las patentes y de las publicaciones científicas puede ser muy significativa en el caso de la biotecnología vegetal. Esto es así por dos motivos.

El primero estriba en que el patentamiento de invenciones de biotecnología vegetal se rige por distintos criterios en cada jurisdicción. Por tanto, si se elige el patentamiento como único indicador de la innovación en biotecnología agrícola, puede que se omitan importantes trabajos de investigación científica efectuados en países en los que la posibilidad de patentar es limitada.

El segundo motivo es que, si bien la actividad de innovación puede medirse tanto por las invenciones patentadas como por las publicaciones científicas, existen importantes diferencias. Es posible, por ejemplo, que las invenciones divulgadas con arreglo a los requisitos de patentabilidad estén más próximas a la fase de comercialización que las investigaciones

publicadas, que pueden tener un carácter más puramente científico.<sup>50</sup> Cabe mencionar además que, en los Estados Unidos, la mayor parte de las actividades de innovación las lleva a cabo el sector privado, que suele valerse de las patentes, mientras que, en China, las principales fuentes de innovación son las universidades y las instituciones públicas.

En el gráfico 4.5 se representan los polos nacionales e internacionales de biotecnología agrícola de todo el mundo. Estos polos tienen su origen en la gran concentración en una misma ubicación de inventores y autores de productos de biotecnología vegetal, ya sean de ámbito mundial (polos internacionales) o nacional (polos nacionales).

En el recuadro 4.2 se describe el método empleado para identificar estos polos y se especifica que únicamente los internacionales pueden compararse entre distintos países, mientras que los nacionales solo pueden compararse entre regiones de un mismo país.

Los polos internacionales de biotecnología vegetal son una muestra de la diversidad geográfica del panorama de la innovación. Se localizan en los tres principales ejes de la innovación, es decir, los Estados Unidos, Europa y Asia Oriental –en particular, el Japón y la República de Corea–. También están presentes en otros países de Asia –la India, Israel, China y Singapur–, Oceanía –Australia– y América Latina y el Caribe –la Argentina y México–. Su distribución guarda correlación con la de los polos internacionales de biotecnología de campos conexos.

No todos los países con una significativa actividad de innovación poseen polos internacionales. El Brasil, por ejemplo, es una de las principales economías en desarrollo y su actividad de innovación en este ámbito es considerable, pero carece de polos internacionales. Este hecho obedece principalmente a que sus actividades de innovación en biotecnología vegetal tienen lugar en siete regiones distintas que, por separado, no alcanzan el umbral de producción de patentes y artículos científicos (véase el recuadro 4.2). El SNIA del Brasil –la Empresa Brasileña de Investigación Agropecuaria (EMBRAPA)– prefiere que las actividades de investigación se repartan entre distintos campus de investigación y no se concentren únicamente en su sede principal de Brasilia.

En la distribución mundial de los polos nacionales e internacionales de biotecnología vegetal se aprecian

dos particularidades dignas de mención. La primera es la clara división entre el medio urbano en el que se ubican los centros de innovación y el medio rural al que se destina la innovación agrícola.<sup>51</sup> La mayor parte de la innovación en biotecnología vegetal se idea, investiga y desarrolla en zonas urbanas. Sin embargo, los ensayos de campo se realizan en zonas rurales, por lo que puede ser necesaria alguna innovación para adaptar las plantas modificadas genéticamente a las condiciones agroecológicas locales –es decir, a la combinación de suelo, configuración del terreno y características climáticas–.<sup>52</sup>

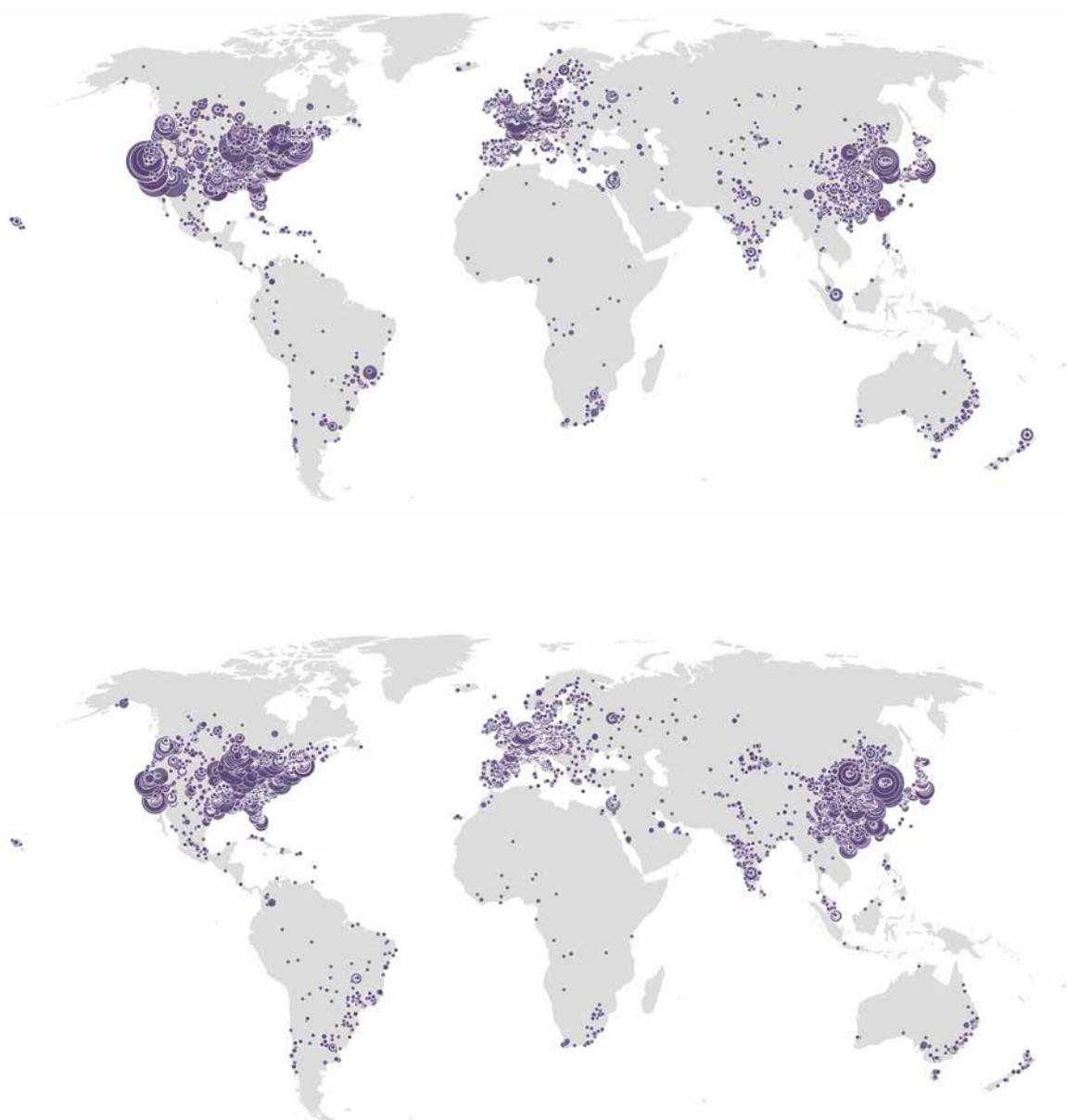
En el gráfico 4.6 se muestran los polos nacionales e internacionales de biotecnología agrícola en relación con las zonas de cultivo (sombreado verde) de cuatro regiones del mundo: América del Norte, Europa, Asia y América Latina. La mayor parte de los polos internacionales están radicados en áreas urbanas. En los Estados Unidos, por ejemplo, se localizan en San José, Boston y la ciudad de Nueva York.

Sin embargo, algunos polos están situados en las proximidades de las zonas de cultivo. Su ubicación no es casual: la mayor parte de ellos se asientan en grandes universidades relacionadas con la agricultura, como los ya mencionados centros universitarios estadounidenses erigidos mediante cesión de terreno público. Un ejemplo destacado es Des Moines (en el estado de Iowa), que es tanto una zona agrícola como un polo internacional de biotecnología vegetal. En Des Moines hallan la Universidad Estatal de Iowa –un centro universitario erigido mediante cesión de terreno público– y Pioneer Hi-Bred –una de las primeras nuevas empresas especializadas en biotecnología agrícola–.

En muchas economías en desarrollo, los polos nacionales e internacionales de biotecnología vegetal están cerca de sus respectivos SNIA, que suelen estar ubicados en zonas agrícolas. El CIMMYT de Texcoco está aproximadamente a una hora de distancia de la Ciudad de México, y el Instituto Nacional de Tecnología Agrícola (INTA) de la Argentina se encuentra en Buenos Aires. El Instituto Internacional de Investigación de Cultivos para las Zonas Tropicales Semiáridas –un instituto del CGIAR– está radicado en Patancheru, cerca de Hyderabad (India), y el IRRI de Los Baños (Filipinas) se halla a una hora de la Ciudad de Dasmariñas. En el Brasil, los polos nacionales se ubican en los centros de la EMBRAPA. Todos estos SNIA están situados en un radio de 50 km de distancia de los polos nacionales de biotecnología agrícola.

### La distribución de la innovación en biotecnología agrícola se ha ampliado a partir de la década de 2000

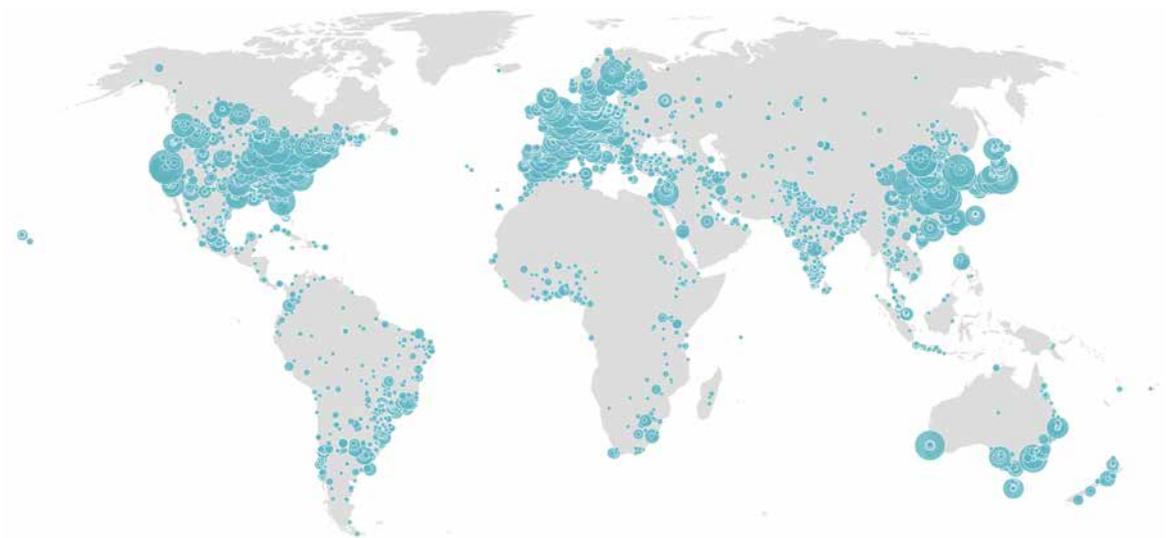
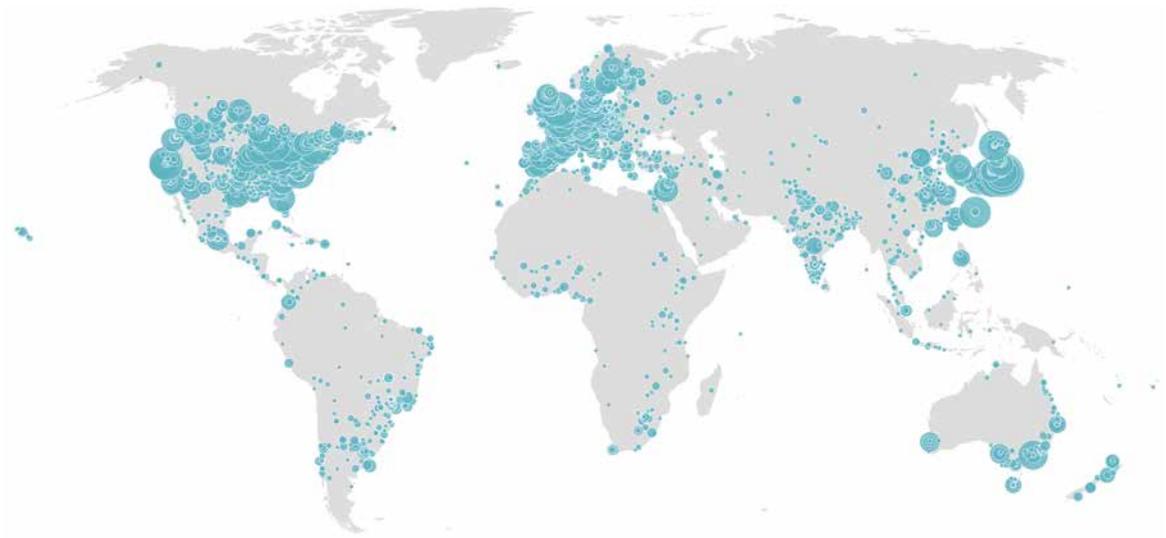
Gráfico 4.4 Distribución de los centros de innovación en biotecnología vegetal por solicitudes de patente presentadas (izquierda) y por publicaciones (derecha) en los períodos 1998-2007 (arriba) y 2008-2017 (abajo)



■ PATENTES ■ PUBLICACIONES CIENTÍFICAS

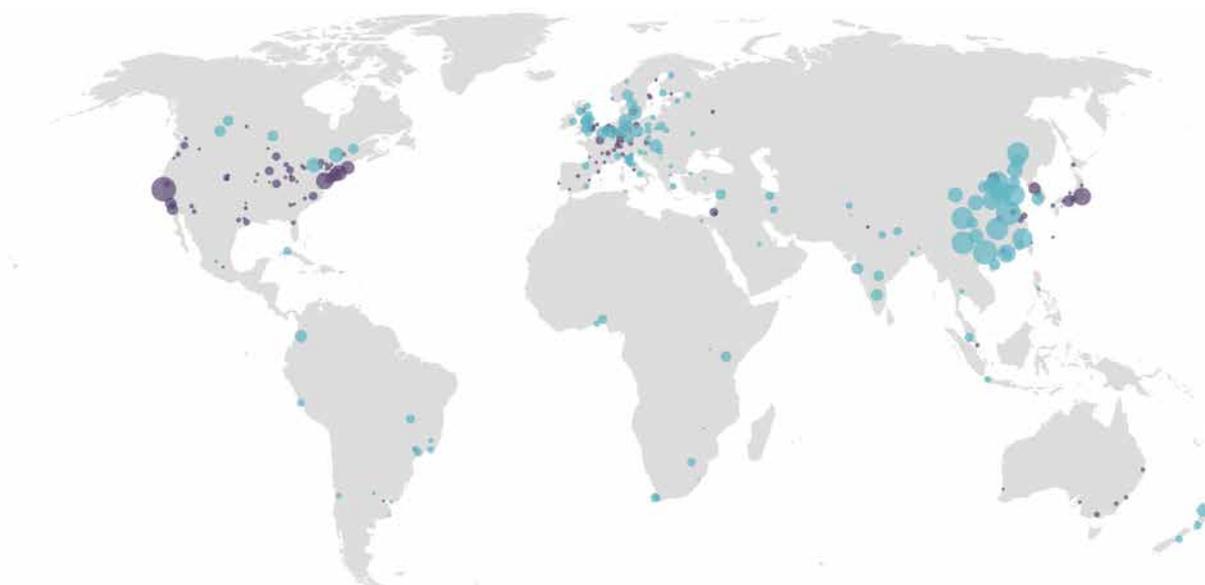
Fuente: OMPI, a partir de datos de PATSTAT, el PCT y *Web of Science* (véanse las notas técnicas).

Nota: El tamaño de los círculos indica el volumen relativo de patentes y de publicaciones científicas, respectivamente.



## Los polos de biotecnología agrícola están repartidos por todo el mundo

Gráfico 4.5 Distribución mundial de los polos de innovación en biotecnología vegetal (1970-2017)



■ POLOS INTERNACIONALES DE BIOTECNOLOGÍA VEGETAL ■ POLOS NACIONALES DE BIOTECNOLOGÍA VEGETAL

Fuente: OMPI, a partir de datos de PATSTAT, el PCT y *Web of Science* (véanse las notas técnicas).

Es probable que la presencia de estas instituciones agrícolas cree ecosistemas regionales que favorecen la fundación de empresas y el establecimiento de instalaciones de I+D de compañías del sector. Samad y Graff (2020) sostienen que el factor que en mayor medida determina la cantidad de invenciones que se producen en una región es la cantidad de invenciones producidas en esa región en el pasado. Esta relación se explica por la “permanencia” de las inversiones fijas en la infraestructura regional de conocimientos y el capital humano –puesto que el conocimiento, en contraposición a la información, no se transmite tan fácilmente de un lugar a otro– y por el carácter local del trasvase de conocimientos (véase el capítulo 1).

La segunda particularidad es que, como se ha señalado antes, la mayor parte de los polos internacionales de biotecnología vegetal se concentran en áreas metropolitanas. En el gráfico 4.7 se muestra la ubicación de estos polos internacionales y la de los núcleos de innovación de escala mundial y los conglomerados sectoriales especializados, tal como se han definido en el capítulo 2 del presente informe.

La ubicación de las regiones de innovación en biotecnología vegetal viene determinada por poderosas fuerzas aglomerantes. Al establecerse en regiones con una intensa actividad de innovación, esté o no relacionada con la biotecnología vegetal, los investigadores, tanto del sector público como del privado, pueden beneficiarse del trasvase de conocimientos (véase el capítulo 2). Pueden, por ejemplo, aprovechar la presencia de otras industrias innovadoras conexas y de trabajadores cualificados especializados, lo cual puede resultar interesante y útil y facilitar nuevos avances en biotecnología agrícola.<sup>53</sup>

### 4.3 La red de innovación en biotecnología vegetal

Los principales polos de innovación en biotecnología agrícola se encuentran, como es lógico, en los países que más invierten en I+D agrícola.

En el gráfico 4.8 se esbozan las conexiones entre los 30 principales polos internacionales con arreglo a las

#### Recuadro 4.2 Identificación de los polos nacionales e internacionales de biotecnología agrícola

El proceso de identificación de los polos nacionales e internacionales de biotecnología agrícola consta al menos de tres pasos.

##### **Paso 1: Identificación de las patentes de biotecnología vegetal y las publicaciones científicas**

Patentes: para acotar la biotecnología agrícola aplicada a determinados cultivos, se emplea una combinación de dos sistemas internacionales de clasificación de la tecnología –la Clasificación Internacional de Patentes (CIP) y los códigos de Clasificación de Patentes Cooperativa (CPC)– y palabras clave (en las notas técnicas se ofrece una relación exhaustiva de los códigos y las palabras clave utilizados para efectuar la búsqueda). Las patentes relativas a cultivos se clasifican en las categorías siguientes: i) mejoramiento genético de las plantas de cultivo, ii) control de las plagas de los cultivos, iii) fertilidad del suelo y iv) cambio climático.

Publicaciones científicas: se emplea una combinación de las principales revistas de biotecnología agrícola y palabras clave pertinentes y específicas de la biotecnología vegetal (en las notas técnicas se ofrece información más detallada al respecto).

##### **Paso 2: Geocodificación de las direcciones de los inventores y los autores**

Las direcciones de los autores de las invenciones patentadas y de los artículos científicos relacionados con la biotecnología vegetal se geocodifican y cartografían. En el caso de los inventores, se emplea la dirección que figura en los documentos patentados. En las publicaciones científicas, sin embargo, no se suele indicar la dirección de los autores, por lo que la ubicación se extrae de sus datos de filiación.

##### **Paso 3: Diferenciación entre polos nacionales e internacionales**

Una vez establecida la ubicación de las invenciones patentadas y las publicaciones científicas, se identifican los polos nacionales y los polos internacionales aplicando dos umbrales distintos. Para seleccionar los internacionales se tienen en cuenta únicamente las familias de patentes multijurisdiccionales, en

combinación con los artículos científicos publicados. Dichas patentes son las solicitadas en oficinas de propiedad intelectual que no corresponden al lugar de residencia del solicitante o al menos en una oficina de otro país –por ejemplo, en una oficina de propiedad intelectual nacional y en una de otro país–. Las solicitudes de patente presentadas en una oficina internacional, como la Oficina Europea de Patentes, o en virtud del Tratado de Cooperación en materia de Patentes (PCT) también se consideran familias de patentes multijurisdiccionales.

En el caso de los polos nacionales, se tienen en cuenta todas las familias de patentes además de las publicaciones científicas. También se incluyen las familias unijurisdiccionales (*singletons*), que son solicitudes de patente presentadas únicamente en la oficina de propiedad intelectual correspondiente al lugar de residencia del solicitante.

Un polo se clasifica como internacional en función de un umbral mundial que combina patentes multijurisdiccionales y publicaciones científicas. La clasificación como polo nacional se basa en un umbral específico para cada país.

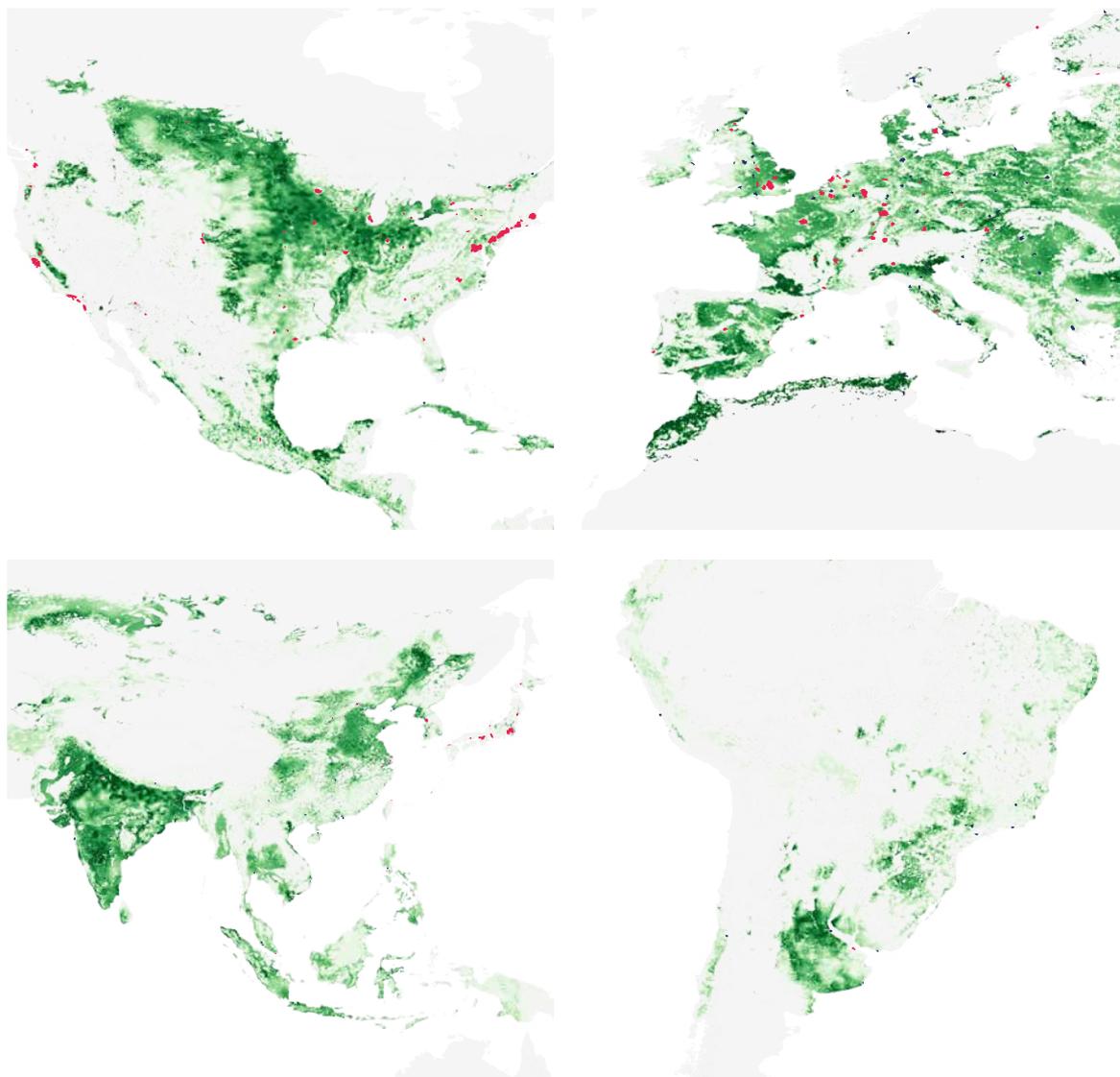
Por consiguiente, los polos internacionales se diferencian de los nacionales principalmente en dos aspectos. Por un lado, los polos internacionales se determinan teniendo en cuenta únicamente las familias de patentes multijurisdiccionales. Los nacionales, sin embargo, se determinan en función del total de patentes –tanto unijurisdiccionales como multijurisdiccionales– solicitadas por los residentes de un país. Por otro lado, el umbral de escala internacional se determina a partir del volumen medio de patentes y artículos científicos de todo el mundo que ha sido atribuido a una región, mientras que el umbral de escala nacional se basa en el volumen medio de patentes y publicaciones científicas de un país que ha sido atribuido a una región.

Solo los polos internacionales son comparables entre distintos países.

Nota: Véanse los recuadros 2.1 y 2.2 del capítulo 2. Véase también el glosario que figura en el anexo de OMPI (2018).

## La innovación se produce lejos de las tierras de cultivo

Gráfico 4.6 Ubicación de los centros de innovación en biotecnología vegetal y de las tierras de cultivo



■ POLOS INTERNACIONALES DE BIOTECNOLOGÍA VEGETAL ■ POLOS NACIONALES DE BIOTECNOLOGÍA VEGETAL

Fuente: OMPI, a partir de datos de PATSTAT, el PCT y *Web of Science* (véanse las notas técnicas). Los datos de las tierras de cultivo proceden de Ramankutty *et al.* (2008). Nota: Las áreas en verde representan las tierras de cultivo y los pastos alrededor de 2000.

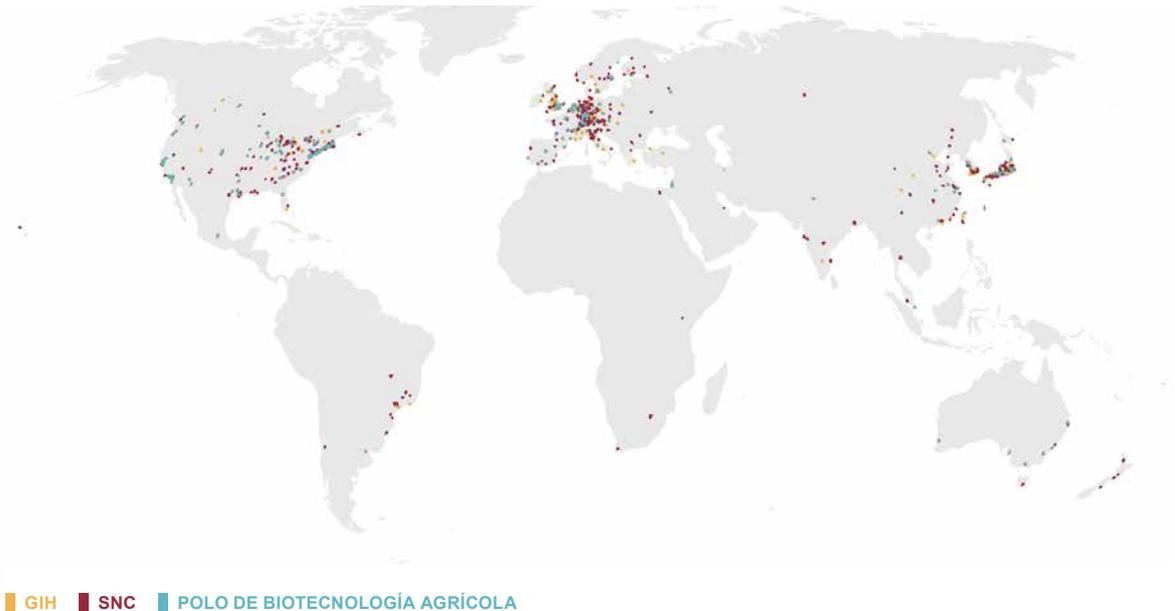
invenciones patentadas (izquierda) y las publicaciones científicas (derecha) en el período 2010-2017. Estas interconexiones corresponden a invenciones y publicaciones de autoría conjunta entre distintas regiones. El tamaño de los círculos representa el volumen de invenciones patentadas (o de publicaciones científicas) en un polo determinado, y el grosor de las líneas refleja la

frecuencia de las interacciones entre los polos. El color de los círculos indica el país al que pertenecen los polos.

La mayor parte de los polos internacionales de innovación patentada en biotecnología agrícola se ubican en los Estados Unidos, el Canadá, Europa –en particular, Alemania, Francia, los Países Bajos, Dinamarca y el

## Las actividades de innovación tienden a concentrarse, sobre todo en áreas metropolitanas

Gráfico 4.7 Distribución mundial de la innovación (núcleos de innovación de escala mundial, conglomerados sectoriales especializados y polos internacionales de biotecnología vegetal)



Fuente: OMPI, a partir de datos de PATSTAT, el PCT y *Web of Science* (véanse las notas técnicas).

Reino Unido– y en países de Asia Oriental –el Japón, la República de Corea y China–.<sup>54</sup> Como en el caso de la biotecnología, la distancia no siempre es el principal criterio de conexión entre los polos.

Por ejemplo, los inventores de los dos mayores polos internacionales –San José y la ciudad de Nueva York, a 4.724 km de distancia– interactúan con mayor frecuencia que los de San José y los de San Diego, a 739 km de distancia. Los inventores de Rotterdam (Países Bajos) producen más invenciones conjuntas con los inventores de San Diego que con sus compatriotas de Eindhoven.

Si se atiende a los artículos científicos publicados, el panorama de los polos internacionales responde a una pauta similar, aunque se observa mayor diversidad en el tamaño de los polos y mayor densidad de las interacciones. Los dos mayores polos con arreglo a las publicaciones son Beijing y Tokio. Los polos estadounidenses no destacan tanto en este aspecto como en el del patentamiento.

No obstante, conforme a ambas medidas de la innovación, la inmensa mayoría de los polos internacionales

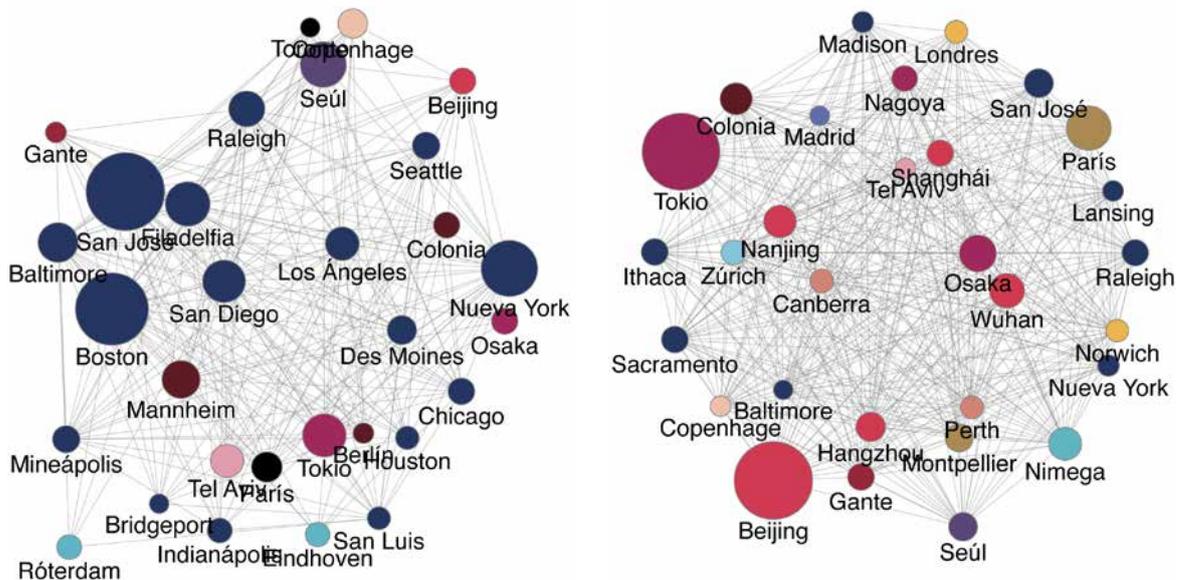
se encuentran en los Estados Unidos: 16 atendiendo a las patentes y ocho atendiendo a las publicaciones científicas. Le siguen Alemania, con tres polos internacionales por patentes, y China, con seis polos internacionales por publicaciones científicas.

Si se comparan los polos internacionales en función de estas medidas, ambas apuntan a los Estados Unidos como el principal país de la innovación en biotecnología vegetal. Una de las razones de la importancia de los polos internacionales de biotecnología vegetal de los Estados Unidos es la cantidad y la calidad de sus inventores e investigadores especializados. Al observar el lugar de residencia de la mayor parte de los inventores, en especial si es distinto al del solicitante de la patente, se comprueba el abrumador predominio de los Estados Unidos en lo que concierne a la presencia de investigadores en biotecnología agrícola.

El gráfico 4.9 muestra la ubicación de los investigadores en biotecnología vegetal a partir de los distintos lugares de residencia del solicitante (izquierda) y el inventor (derecha) de la patente. En el bloque de la izquierda se representan las conexiones entre solicitante e inventor en el período 1970-1999, y en el bloque de

**¿Existe una actitud más abierta en cuanto a las publicaciones científicas que a las patentes? La colaboración entre distintos polos de biotecnología vegetal es más frecuente e intensa respecto de las publicaciones científicas que de las actividades de patentamiento**

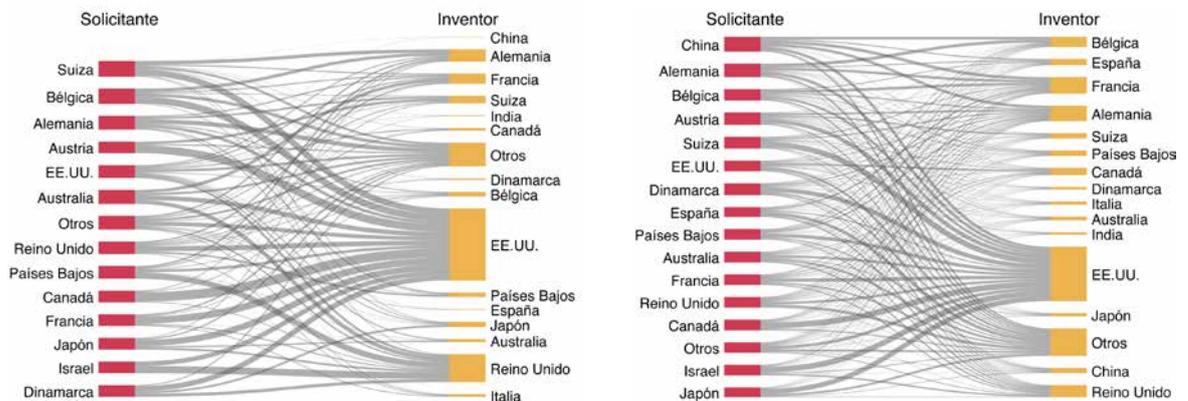
Gráfico 4.8 Conexiones entre los 30 principales polos internacionales de biotecnología en función de las solicitudes de patente presentadas (izquierda) y las publicaciones científicas (derecha) (2010-2017)



Fuente: OMPI, a partir de datos de PATSTAT, el PCT y *Web of Science* (véanse las notas técnicas).  
 Nota: El tamaño de los círculos indica el volumen relativo de patentes y de publicaciones científicas, respectivamente.

**Los investigadores especializados en biotecnología agrícola suelen proceder de los Estados Unidos**

Gráfico 4.9 Comparación del 10% superior de las conexiones entre solicitantes e inventores de patentes multijurisdiccionales en los períodos 1970-1999 (izquierda) y 2000-2017 (derecha)



Fuente: OMPI, a partir de datos de PATSTAT, el PCT y *Web of Science* (véanse las notas técnicas).  
 Nota: Solo se incluyen las familias de patentes multijurisdiccionales. Se representan las conexiones entre solicitantes e inventores que residen en lugares distintos.

la derecha se ilustra el período 2000-2017. Las líneas que conectan al solicitante con el inventor son indicadores indirectos de la solidez de la relación: cuanto más gruesa es la línea, más frecuente es la interacción.

En ambos períodos, muchos solicitantes de patentes de fuera de los Estados Unidos han recurrido a investigadores y científicos de ese país. Una buena parte de los descubrimientos importantes en biotecnología agrícola se han producido en universidades e instituciones públicas de los Estados Unidos, lo que explica que sus científicos e investigadores estén tan solicitados. Además, las empresas privadas de los Estados Unidos suelen ser las primeras en invertir estratégicamente en la exploración de las aplicaciones comerciales de la biotecnología vegetal. La combinación de estos factores aumenta el peso de los Estados Unidos en la red de innovación en biotecnología agrícola.

#### 4.4 El futuro de la biotecnología vegetal

Tres novedades en el ámbito de la biotecnología vegetal pueden transformar la actual red mundial de innovación. Los recientes descubrimientos en biología molecular están abriendo nuevas vías de investigación, de las que pueden derivarse nuevas aplicaciones de la biotecnología vegetal. La adaptación de la técnica CRISPR-Cas9 puede dar un nuevo impulso a la investigación orientada al mejoramiento genético de cultivos y ganado. Por otra parte, a medida que esta tecnología se hace más asequible, aumenta su potencial para “democratizar” la innovación en biotecnología agrícola.<sup>55</sup> Si a ello se le suma la creciente importancia en este campo de las economías en desarrollo, dicho avance puede contribuir a una distribución más uniforme de la red mundial de innovación. En un futuro próximo, polos de distintas regiones del mundo podrán realizar valiosas aportaciones que permitan mejorar la seguridad alimentaria de manera eficiente y sostenible.

Asimismo, gracias a las nuevas aplicaciones de los sensores y la inteligencia artificial para sistematizar la cuantificación de los fenotipos y rasgos físicos de los organismos, podrán establecerse conexiones mucho más sólidas y precisas entre el genotipo y el fenotipo. La capacidad de “leer”, “escribir” y “modificar” secuencias de nucleótidos brinda nuevas posibilidades tecnológicas de mejoramiento genético de los cultivos y el ganado.

La segunda novedad que puede transformar el panorama mundial de la innovación y ampliar la participación de las economías en desarrollo en la red mundial de innovación es el reciente cambio de postura del CGIAR en relación con los derechos de propiedad intelectual.<sup>56</sup>

En el pasado, el CGIAR se comprometió a velar por que la labor de sus miembros pudiera ser compartida y de fácil acceso, pero evitando recurrir a los derechos de propiedad intelectual por su carácter exclusivo. Hoy en día, este planteamiento ha cambiado. El CGIAR ha reconocido la importancia de la colaboración con el sector privado y ha comenzado a utilizar la propiedad intelectual como incentivo para la colaboración y el establecimiento de alianzas y para fomentar la innovación.

Por último, en julio de 2018, el Tribunal de Justicia de la Unión Europea (TJUE) dictaminó que las plantas vegetales obtenidas mediante tecnologías para la modificación de genes, como la CRISPR-Cas9, se regirán por la misma reglamentación que los organismos modificados genéticamente. Como la técnica CRISPR-Cas9 transforma la estructura genética de la planta –su ADN– sin introducir ningún material ajeno, podría considerarse que esa normativa no le afecta. Pero el TJUE precisó que también está sujeta a la directiva de la Comisión Europea. Científicos e investigadores sostienen que esa sentencia podría acentuar el éxodo de la I+D europea en biotecnología vegetal. Si esta impresión se confirma, la sentencia del TJUE puede transformar aún más el panorama de la innovación y las redes de biotecnología vegetal.

## Notas

- 1 Este capítulo se nutre de Graff y Hamdan-Livramento (2019).
- 2 Otros métodos tradicionales son la hibridación y la injertación.
- 3 Esta es la definición que figura en el Convenio sobre la Diversidad Biológica (CDB) de las Naciones Unidas. La *Biotechnology Innovation Organization* (BIO), una de las principales asociaciones del sector privado, ofrece una definición ligeramente distinta. La BIO define la biotecnología como “la tecnología basada en la biología: la biotecnología aprovecha los procesos celulares y biomoleculares para desarrollar tecnologías y productos que ayuden a mejorar nuestras vidas y la salud del planeta” ([bio.org/what-biotechnology](http://bio.org/what-biotechnology)).
- 4 Graff *et al.* (2003).
- 5 FAO (2003).
- 6 Los términos “biotecnología agrícola” y “biotecnología vegetal” se diferencian en que el primero se refiere al sector en general y el segundo se aplica a un campo concreto de la biotecnología agrícola. No obstante, “biotecnología vegetal” y “biotecnología agrícola” se emplean indistintamente.
- 7 El primer medicamento autorizado para el que se utilizó la tecnología de ADN<sub>r</sub> fue la insulina humana, producida por Genentech y cedida mediante licencia a Eli Lilly and Company (Johnson, 1983).
- 8 Kenny (1988).
- 9 La proximidad entre el ser humano y los animales. El ser humano se encuadra en la categoría de los mamíferos, dentro del reino animal, por lo que la transición de la salud humana a la salud animal resulta más sencilla.
- 10 Carrer *et al.* (2010). En este capítulo se emplean indistintamente las expresiones “organismos modificados genéticamente” y “organismos mejorados genéticamente” (OMG). También se utilizan “plantas transgénicas” y “cultivos transgénicos”.
- 11 Véase Álvarez-Morales (2000).
- 12 Las patentes tienen carácter territorial, lo que implica que una patente concedida en un país o una jurisdicción puede no ser válida en otro. Los inventores que deseen asegurar la protección de su invención contra la imitación en otros países han de presentar solicitudes de patente respecto de dicha invención en esas jurisdicciones.
- 13 Otras formas de protección de la propiedad intelectual para plantas son las variedades vegetales y las patentes de plantas (específicas de los Estados Unidos). No obstante, estos dos instrumentos de propiedad intelectual quedan fuera del alcance del presente informe y no se tratan aquí.
- 14 Barton (2000).
- 15 Véase Eisenberg (1996) y Heller y Eisenberg (1998).
- 16 Barton and Berger (2001).
- 17 Brennan (1980).
- 18 Otro instrumento que protege la innovación en materia de plantas es el sistema de derechos de las variedades vegetales de la Unión Internacional para la Protección de las Obtenciones Vegetales (UPOV), que no se aborda en este capítulo.
- 19 Figueiredo *et al.* (2019). Véanse Teece (1986) y Rothaermel (2001) en relación con la importancia de los activos complementarios.
- 20 En Eckerstorfer *et al.* (2019) se ofrece un panorama de los distintos marcos normativos existentes.
- 21 Véanse Glowka (2003) y Komen (2012).
- 22 Véanse Graff y Hamdan-Livramento (2019) y Brenner y Komen (1994).
- 23 Véase la solución de diferencias DS291 de la OMC: Comunidades Europeas — Medidas que afectan a la aprobación y comercialización de productos biotecnológicos ([www.wto.org/spanish/tratop\\_s/dispu\\_s/cases\\_s/ds291\\_s.htm](http://www.wto.org/spanish/tratop_s/dispu_s/cases_s/ds291_s.htm)).
- 24 La lista de reglamentos y directivas sobre organismos modificados genéticamente puede consultarse en [ec.europa.eu/food/plant/gmo/legislation\\_en](http://ec.europa.eu/food/plant/gmo/legislation_en).
- 25 En el gráfico se representan los países de la Europa de los Veintiocho (aunque faltan los datos de Bulgaria, Malta y Polonia). España, Portugal y el Reino Unido se incluyen entre los países que seguían cultivando plantas transgénicas.
- 26 Servicio Exterior de Agricultura del Departamento de Agricultura de los Estados Unidos (2018).
- 27 ISAAA (2017). En 2012, BASF anunció el cierre de SunGene, su principal actividad de biotecnología vegetal, con sede en Gatersleben (Alemania), para concentrarse en los mercados de América del Norte y del Sur en 2013. Véase [www.sungene.de](http://www.sungene.de).
- 28 Véanse Comisión Europea (2004, 2009), Consejo Nacional de Investigación (1987, 1998) y FAO (2003, 2004).
- 29 CRISPR es la sigla de “clustered regularly interspaced short palindromic repeats” (repeticiones palindrómicas cortas agrupadas a intervalos regulares) y Cas9 corresponde

- a “*CRISPR-associated protein 9*” (proteína 9 asociada a CRISPR).
- 30 Wright (2012). En Alston *et al.* (2010) y Olmstead y Rhode (2011) se aborda la importancia para la industria agrícola estadounidense de estas universidades erigidas mediante cesión de terreno público.
- 31 En el capítulo 2 de FAO (1996) se ofrecen más detalles sobre las condiciones agroecológicas.
- 32 Byerlee y Fischer (2002) y FAO (2004).
- 33 Barry y Hosch (2000).
- 34 Véanse FAO (2004) y Serageldin y Persley (2000).
- 35 Bijman y Tait (2002).
- 36 Clancy *et al.* (2016).
- 37 Komen y Persley (1993), Persley (2000) y Fukuda-Parr (2006).
- 38 Según los cálculos de Kalaitzandonakes y Bjornson (1997), entre 1981 y 1985 se produjeron 167 fusiones, adquisiciones y alianzas estratégicas entre empresas emergentes y multinacionales, y 801 fusiones entre 1991 y 1996.
- 39 Véanse Kalaitzandonakes (2000), Fulton y Giannakas (2001), Tait *et al.* (2002) y OCDE (2018).
- 40 Howard (2015).
- 41 Véanse OCDE (2018) y Fuglie *et al.* (2012). En OCDE (2018, pág. 104) se examina la bibliografía empírica sobre la concentración de la industria de las semillas y su incidencia en la innovación. El estudio concluye que los datos históricos no ofrecen suficientes pruebas de que la concentración haya afectado negativamente a la innovación. Fukuda-Parr (2006).
- 42 El estudio concluye que los datos históricos no ofrecen suficientes pruebas de que la concentración haya afectado negativamente a la innovación. Fukuda-Parr (2006).
- 43 Huang *et al.* (2002).
- 44 Byerlee y Fischer (2002).
- 45 Véase Barton y Berger (2001).
- 46 Pinstrup-Andersen y Cohen (2003).
- 47 Véase Centro Internacional de la Papa (1995).
- 48 Las solicitudes conjuntas de patentes son aquellas en las que figuran al menos dos solicitantes.
- 49 Además de las indicadas en este capítulo, es posible que deban incluirse otras regiones, pues puede que las publicaciones científicas se hayan subestimado.
- 50 Ha de tenerse en cuenta que la identificación de artículos sobre biotecnología vegetal depende en gran medida del método utilizado. En este caso se ha recurrido únicamente a las principales revistas de biotecnología vegetal y se han excluido otras que, si bien no son tan conocidas, contienen contribuciones igualmente pertinentes.
- 51 Véase Griliches (1990).
- 52 También Samad y Graff (2020) señalan esta división entre medio urbano y medio rural en su examen de los centros de innovación en biotecnología agrícola de los Estados Unidos.
- 53 En Graff y Hamdan-Livramento (2019) se ofrece más información sobre el procedimiento de cultivo de plantas transgénicas.
- 54 Hermans *et al.* (2008).
- 55 El anexo de Graff y Hamdan-Livramento (2019) contiene una lista detallada de los 30 polos principales por patentes y por artículos científicos publicados.
- 56 Véanse Mahfouz *et al.* (2014) y Shwartz (2018).
- 57 Véase CGIAR (2006, 2013).

## Referencias

- Alston, J.M., M.A. Andersen, J.S. James and P.G. Pardey (2010). *Persistence Pays: US Agricultural Productivity Growth and the Benefits from Public R&D Spending*, Natural Resource Management and Policy, Zilberman, D., R. Goetz and A. Garrido (eds), Vol. 34. New York: Springer.
- Alvarez-Morales, A. (2000). Mexico: ensuring environmental safety while benefiting from biotechnology. In Persley, G.J. and M.M. Lantin (eds), *Agricultural Biotechnology and the Poor: Proceedings of an International Conference, Washington, D.C., 21–22 October 1999*. Washington, D.C.: Consultative Group on International Agricultural Research.
- Babinard, J. (2001). A short history of agricultural biotechnology. In Nelson, G.C. (ed.), *Genetically Modified Organisms in Agriculture*. London: Academic Press, 271–274. [doi.org/10.1016/B978-012515422-2/50029-1](https://doi.org/10.1016/B978-012515422-2/50029-1)
- Barry, G. and R. Horsch (2000). Evolving role for the public and private sector in agricultural biotechnology in developing countries. In Persley, G.J. and M.M. Lantin (eds), *Agricultural Biotechnology and the Poor*. Washington D.C.: Consultative Group on International Agricultural Research, 183–185.
- Barton, J.H. (2000). Intellectual property, biotechnology, and international trade: two examples. *World Trade Forum*, 3, 1–15.
- Barton, J.H. and P. Berger (2001). Patenting agriculture. *Issues in Science and Technology*, 17(4). [issues.org/barton](https://issues.org/barton)
- Bijman, J. and J. Tait (2002). Public policies influencing innovation in the agrochemical, biotechnology and seed industries. *Science and Public Policy*, 29(4), 245–251. [doi.org/10.3152/147154302781780895](https://doi.org/10.3152/147154302781780895)
- Brennan, A.A. (1980). Patentability of micro-organisms: *Diamond v. Chakrabarty*, 100 S. Ct. 2204. *Akron Law Review*, 14(2), 341–349.
- Brenner, C., and J. Komen (1994). International Initiatives in Biotechnology for Developing Country Agriculture: Promises and Problems. *OECD Development Centre Working Papers, No. 100*. Paris: OECD Publishing. [doi.org/10.1787/257557587410](https://doi.org/10.1787/257557587410)
- Brookes, G. (2018). The farm level economic and environmental contribution of Intacta soybeans in South America: the first five years. *GM Crops & Food*, 9(3), 140–151. [doi.org/10.1080/21645698.2018.1479560](https://doi.org/10.1080/21645698.2018.1479560)
- Byerlee, D. and K. Fischer (2002). Accessing modern science: policy and institutional options for agricultural biotechnology in developing countries. *World Development*, 30(6), 931–948. [doi.org/10.1016/S0305-750X\(02\)00013-X](https://doi.org/10.1016/S0305-750X(02)00013-X)
- Carrer, H., A.L. Barbosa and D.A. Ramiro (2010). Biotechnology in agriculture. *Estudos Avançados*, 24(70), 149–164. [doi.org/10.1590/S0103-40142010000300010](https://doi.org/10.1590/S0103-40142010000300010)
- CGIAR (2006). *CGIAR Research Strategies for IPG in a Context of IPR: Report and Recommendations Based on Three Studies*. Rome: Consultative Group on International Agricultural Research. [ispc.cgiar.org/sites/default/files/ISPC\\_IPGStrategiesIPR.pdf](https://ispc.cgiar.org/sites/default/files/ISPC_IPGStrategiesIPR.pdf)
- CGIAR (2013) *Implementation Guidelines for the CGIAR Principles on the Management of Intellectual Assets*.
- Clancy, M., K. Fuglie and P. Heisey (2016, November 10). U.S. Agricultural R&D in an era of falling public funding. *Amber Waves*. [www.ers.usda.gov/amber-waves/2016/november/us-agricultural-rd-in-an-era-of-falling-public-funding](http://www.ers.usda.gov/amber-waves/2016/november/us-agricultural-rd-in-an-era-of-falling-public-funding)
- Eckerstorfer, M.F., M. Engelhard, A. Heissenberger, S. Simon and H. Teichmann (2019). Plants developed by new genetic modification techniques – comparison of existing regulatory frameworks in the EU and non-EU countries. *Frontiers in Bioengineering and Biotechnology*, 7. [doi.org/10.3389/fbioe.2019.00026](https://doi.org/10.3389/fbioe.2019.00026)
- Eisenberg, R.S. (1996). Intellectual property issues in genomics. *Trends in Biotechnology*, 14(8), 302–307. [doi.org/10.1016/0167-7799\(96\)10040-8](https://doi.org/10.1016/0167-7799(96)10040-8)
- European Commission (2004). *Plants for the Future: A 2025 Vision for European Plant Biotechnology*, EUR 21359 EN. Brussels: European Commission Directorate-General for Research Food Quality and Safety.
- European Commission (2009). Communication from the Commission to the Council, the European Parliament, the European Economic and Social Committee and the Committee of the Regions: a mid-term assessment of implementing the EC Biodiversity Action Plan. *Journal of International Wildlife Law & Policy*, 12(1–2), 108–120. [doi.org/10.1080/13880290902938435](https://doi.org/10.1080/13880290902938435)

FAO (1996). *Agro-Ecological Zoning Guidelines*, FAO Soils Bulletin No. 73. Rome: Food and Agriculture Organization of the United Nations. [www.fao.org/3/w2962e/w2962e00.htm#P-2](http://www.fao.org/3/w2962e/w2962e00.htm#P-2)

FAO (2003). *World Agriculture: Towards 2015/2030. An FAO Perspective*. Rome: Food and Agriculture Organization of the United Nations.

FAO (2004). The State of Food and Agriculture 2003–2004. *Agricultural Biotechnology: Meeting the Needs of the Poor?* Rome: Food and Agriculture Organization of the United Nations. [www.fao.org/3/Y5160E/y5160e00.htm#TopOfPage](http://www.fao.org/3/Y5160E/y5160e00.htm#TopOfPage)

Figueiredo, L.H.M., A.G. Vasconcellos, G.S. Prado and M.F. Grossi-de-Sa (2019). An overview of intellectual property within agricultural biotechnology in Brazil. *Biotechnology Research and Innovation*, 3(1), 69–79. doi.org/10.1016/j.biori.2019.04.003

Fuglie, K.O., J.L. King, P.W. Heisey and D.E Schimmelpfennig (2012). Rising concentration in agricultural input industries influences new farm technologies. *Amber Waves*, 10(4). [ageconsearch.umn.edu/record/142404](http://ageconsearch.umn.edu/record/142404)

Fukuda-Parr, S. (ed.) (2006). *The Gene Revolution: GM Crops and Unequal Development*. London and Sterling: Earthscan.

Fulton, M. and K. Giannakas (2001). Agricultural biotechnology and industry structure. *AgBioForum*, 4(2), 137–151.

Glowka, L. (2003). *Law and Modern Biotechnology*, FAO Legislative Study. Rome: Food and Agriculture Organization of the United Nations.

Graff, G. and I. Hamdan-Livramento (2019). The Global Roots of Innovation in Plant Biotechnology. *WIPO Economic Research Working Paper No. 59*. Geneva: World Intellectual Property Organization.

Graff, G., A. Heiman, C. Yarkin and D. Zilberman (2003). Privatization and Innovation in agricultural biotechnology. *ARE Update*, 6(3), 5–7.

Graff, G. and D. Zilberman (2007). The political economy of intellectual property: re-examining European Policy on plant biotechnology. In J. Kesan (ed.), *Intellectual Property Protection for Agricultural Biotechnologies: Seeds of Change*. Wallingford: CABI Press.

Griliches, Z. (1990). Patent statistics as economic indicators: a survey. *Journal of Economic Literature*, 28(4), 1661–1707.

Heller, M.A. and R.S. Eisenberg (1998). Can patents deter innovation? The anticommons in biomedical research. *Science*, 280, 698–701. doi.org/10.1126/science.280.5364.698

Hermans, R., A. Löffler and S. Stern (2008). Biotechnology. In J.T. Macher and D.C. Mowery (eds), *Innovation in Global Industries: U.S. Firms Competing in a New World (Collected Studies)*. Washington, D.C.: The National Academies Press. doi.org/10.17226/12112

Howard, P.H. (2015). Intellectual property and consolidation in the seed industry. *Crop Science*, 55 (November–December). [www.apbrebes.org/files/seeds/files/Howard\\_seed\\_industry\\_patents\\_concentration\\_2015.pdf](http://www.apbrebes.org/files/seeds/files/Howard_seed_industry_patents_concentration_2015.pdf)

Huang, J., R. Hu, Q. Wang, J. Keeley, and J.F. Zepeda (2002). Agricultural biotechnology development, policy and impact in China. *Economic and Political Weekly*, 37(27), 2756–2761.

International Potato Center (1995). *Program Report 1993-1994*. Lima, Peru: International Potato Center.

ISAAA (2017). *Global Status of Commercialized Biotech/GM Crops in 2017: Biotech Crop Adoption Surges as Economic Benefits Accumulate in 22 Years* (ISAAA Briefs No. 53). Ithaca, NY: International Service for the Acquisition of Agri-Biotech Applications.

Johnson, I. S. (1983). Human insulin from recombinant DNA technology. *Science*, 219(4585), 632–637. doi.org/10.1126/science.6337396

Kalaitzandonakes, N. G. and B. Bjornson (1997). Vertical and horizontal coordination in the agrobiotechnology industry: evidence and implications. *Journal of Agricultural and Applied Economics*, 29(1), 129–139. doi.org/10.1017/S1074070800029187

Kalaitzandonakes, N. G. (2000). Agrobiotechnology and Competitiveness. *American Journal of Agricultural Economics*, 82(5), 1224–1233.

Kenny, M. (1988). *Biotechnology: The University-Industrial Complex*. New Haven: Yale University Press.

Klümper, W. and M. Qaim (2014). A meta-analysis of the impacts of genetically modified crops. *PLOS ONE*, 9(11), e111629. doi.org/10.1371/journal.pone.0111629

- Komen, J. (2012). The emerging international regulatory framework for biotechnology. *GM Crops & Food*, 3(1), 78–84. [doi.org/10.4161/gmcr.19363](https://doi.org/10.4161/gmcr.19363)
- Komen, J. and G.J. Persley (1993). *Agricultural Biotechnology in Developing Countries: A Cross-Country Review* (ISNAR Research Report No. 2). The Hague: International Service for National Agricultural Research.
- Mahfouz, M.M., A. Piatek and C.N. Stewart (2014). Genome engineering via TALENs and CRISPR/Cas9 systems: challenges and perspectives. *Plant Biotechnology Journal*, 12(8), 1006–1014. [doi.org/10.1111/pbi.12256](https://doi.org/10.1111/pbi.12256)
- National Research Council (1987). *Agricultural Biotechnology: Strategies for National Competitiveness* (Report of the Committee on a National Strategy for Biotechnology in Agriculture). Washington, D.C.: National Research Council.
- National Research Council (1998). *Designing an Agricultural Genome Program. Report of the Board on Biology and Board on Agriculture*. Washington, D.C.: The National Academy Press.
- Organisation for Economic Cooperation and Development (OECD) (2018). *Concentration in Seed Markets: Potential Effects and Policy Responses*. Paris: OECD Publishing.
- Olmstead, A.L. and P.W. Rhode (2011). Adapting North American wheat production to climatic challenges, 1839–2009. *Proceedings of the National Academy of Sciences*, 108(2), 480–485. [doi.org/10.1073/pnas.1008279108](https://doi.org/10.1073/pnas.1008279108)
- Persley, G.J. (2000). Agricultural biotechnology and the poor: Promethean science. In Persley, G.J. and M.M. Lantin (eds), *Agricultural Biotechnology and the Poor*. Washington D.C.: Consultative Group on International Agricultural Research, 3–21.
- Persley, G.J. and J.N. Siedow (1999). Applications of Biotechnology to Crops: Benefits and Risks. *Council for Agricultural Science and Technology Issue Paper No. 12*.
- Pinstrup-Andersen, P. and M.J. Cohen (2003). Biotechnology and the CGIAR. In Plenderleith, K. and P. De Meyer (eds), *Sustainable Agriculture in the New Millennium: The Impact of Biotechnology on Developing Countries*. Brussels: Friends of the Earth Europe.
- Pray, C.E. and A. Naseem (2003). The Economics of Agricultural Biotechnology Research. *ESA Working Paper No. 03-07*. Rome: The Food and Agriculture Organization of the United Nations. [www.fao.org/tempref/docrep/fao/007/ae040/ae040e00.pdf](http://www.fao.org/tempref/docrep/fao/007/ae040/ae040e00.pdf)
- Ramankutty, N., A.T. Evan, C. Monfreda and J.A. Foley (2008). Farming the planet: 1. Geographic distribution of global agricultural lands in the year 2000. *Global Biogeochemical Cycles*, 22(1), GB1003. [doi.org/10.1029/2007GB002952](https://doi.org/10.1029/2007GB002952)
- Rothaermel, F.T. (2001). Complementary assets, strategic alliances, and the incumbent's advantage: an empirical study of industry and firm effects in the biopharmaceutical industry. *Research Policy*, 30(8), 1235–1251.
- Samad, G. and G.D. Graff (2020). The urban concentration of innovation and entrepreneurship in agricultural and natural resource industries. In Iftikhar, M.N., J.B. Justice and D.B. Audretsch (eds), *Urban Studies and Entrepreneurship*. Cham: Springer International Publishing, 91–116. [doi.org/10.1007/978-3-030-15164-5\\_6](https://doi.org/10.1007/978-3-030-15164-5_6)
- Serageldin, I. and G.J. Persley (2000). *Promethean Science: Agricultural Biotechnology, the Environment, and the Poor*. Washington, D.C.: Consultative Group on International Agricultural Research. [documents.worldbank.org/curated/en/698501468739325409/Promethean-science-agricultural-biotechnology-the-environment-and-the-poor](https://documents.worldbank.org/curated/en/698501468739325409/Promethean-science-agricultural-biotechnology-the-environment-and-the-poor)
- Sheldon, I.M. (2004). Europe's regulation of agricultural biotechnology: precaution or trade distortion? *Journal of Agricultural & Food Industrial Organization*, 2(2), 1–28.
- Shwartz, M. (2018). CRISPR is a gene-editing tool that's revolutionary, though not without risk. *Stanford Medicine*, Winter. [stanmed.stanford.edu/2018winter/CRISPR-for-gene-editing-is-revolutionary-but-it-comes-with-risks.html](https://stanmed.stanford.edu/2018winter/CRISPR-for-gene-editing-is-revolutionary-but-it-comes-with-risks.html)
- Tait, J., J. Chataway and D. Wield (2002). The life science industry sector: evolution of agrobiotechnology in Europe. *Science and Public Policy*, 29(4), 253–258.
- Teece, D.J. (1986). Profiting from technological innovation: implications for integration, collaboration, licensing and public policy. *Research Policy*, 15(6), 285–305. [doi.org/10.1016/0048-7333\(86\)90027-2](https://doi.org/10.1016/0048-7333(86)90027-2)

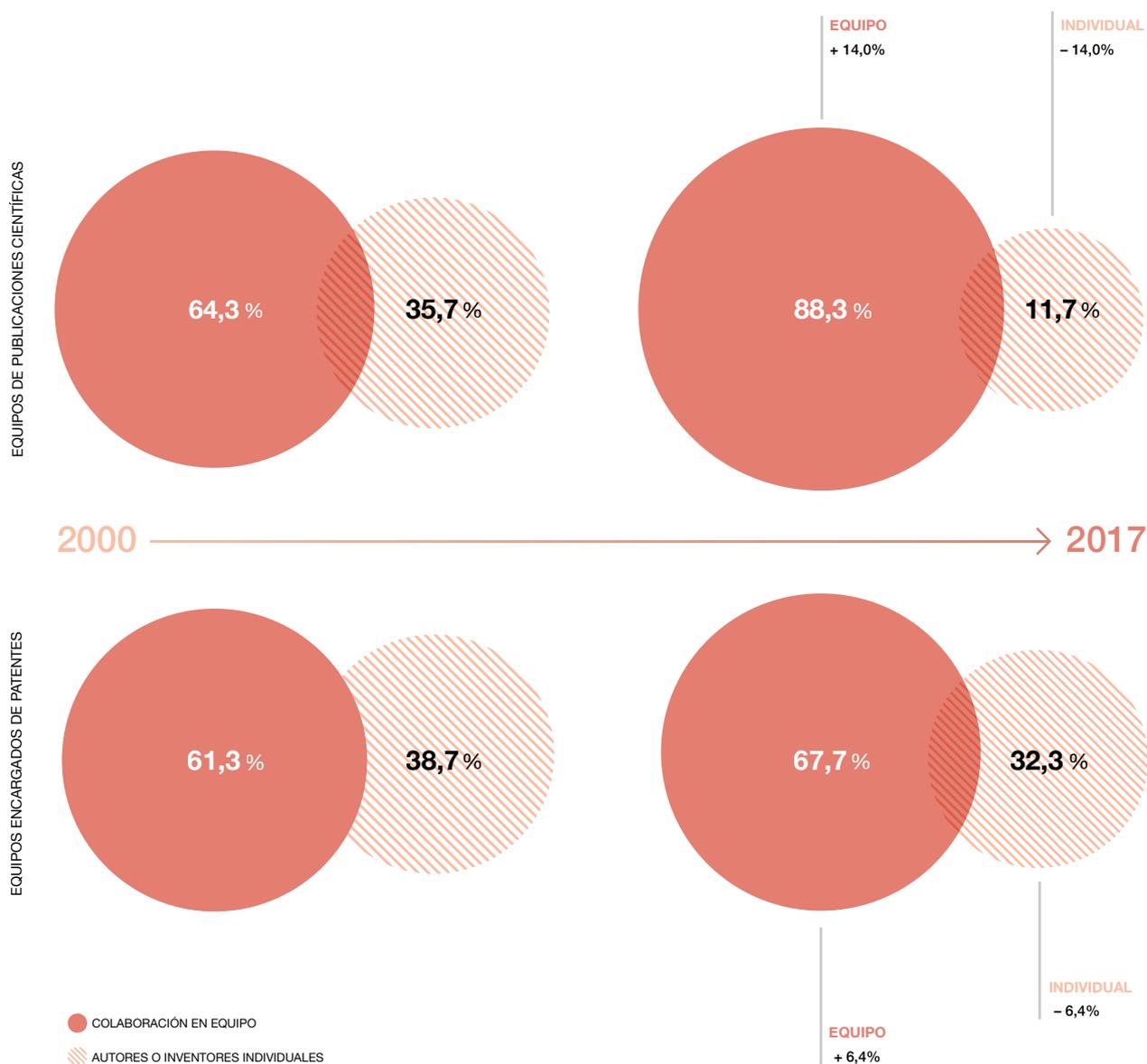
United States Department of Agriculture (USDA) Foreign Agricultural Service (2018). *EU-28: Agricultural Biotechnology Annual*, GAIN Report No. FR1827. Global Agricultural Information Network. [gain.fas.usda.gov/Recent%20GAIN%20Publications/Agricultural%20Biotechnology%20Annual\\_Paris\\_EU-28\\_12-14-2018.pdf](https://gain.fas.usda.gov/Recent%20GAIN%20Publications/Agricultural%20Biotechnology%20Annual_Paris_EU-28_12-14-2018.pdf)

WIPO (2018). *World Intellectual Property Indicators*. Geneva: World Intellectual Property Organization.

Wright, B.D. (2012). Grand missions of agricultural innovation. *Research Policy*, 41(10), 1716–1728. doi. [org/10.1016/j.respol.2012.04.021](https://doi.org/10.1016/j.respol.2012.04.021)

Zilberman, D., C. Yarkin and A. Heiman (1997). *Agricultural Biotechnology: Economic and International Implications*. Paper presented at the International Agricultural Economics Association, Sacramento, California, August. [are.berkeley.edu/~zilber11/yark.pdf](https://are.berkeley.edu/~zilber11/yark.pdf)

La innovación es cada vez más un fenómeno en el que prima la colaboración, a medida que la tecnología se hace más compleja. Para que florezcan los grandes equipos dotados de competencias múltiples, el conocimiento tiene que circular libremente entre las fronteras.



# Perspectivas sobre políticas: argumentos a favor de la apertura

**La innovación siempre ha abarcado distintos países y continentes. A principios del siglo XX, los hermanos Wright, en los Estados Unidos de América, y Alberto Santos-Dumont, en el Brasil, inventaron los primeros aviones que lograron volar. Sin embargo, el desarrollo del avión moderno es fruto principalmente de los avances científicos en Europa que explicaron por qué las máquinas más pesadas que el aire podían volar.<sup>1</sup> El desarrollo y la difusión de las tecnologías agrícolas que desencadenaron la Revolución Verde después de la Segunda Guerra Mundial se basaron en las asociaciones entre las Fundaciones Ford y Rockefeller en los Estados Unidos y un gran número de institutos de investigación agrícola de las economías en desarrollo.<sup>2</sup> Tim Berners-Lee inventó la *World Wide Web* en la Organización Europea de Investigación Nuclear (CERN), consorcio de investigación en la frontera franco-suiza al que patrocinan 23 países, en su mayoría europeos.<sup>3</sup>**

Como se documenta en el presente informe, la innovación hoy en día está muy localizada y, al mismo tiempo, tiene carácter internacional. Diferentes fuerzas de aglomeración han favorecido la creación de varios núcleos de innovación, que normalmente se encuentran en las grandes regiones metropolitanas. Hay un conjunto limitado de núcleos de innovación que marcan el camino y están en el centro de las redes mundiales de innovación. Varios vínculos formales e informales conectan los nodos de esas redes, en las que las empresas multinacionales desempeñan un papel clave. Los datos de los registros de patentes y las publicaciones científicas indican que la dimensión transfronteriza de esos vínculos ha aumentado en los últimos decenios.

La creciente internacionalización de la innovación debe mucho a la propia tecnología. Los avances en las tecnologías de la información y la comunicación (TIC), en especial, han alimentado el flujo de conocimientos a largas distancias. Sin embargo, es crucial que el crecimiento de las redes mundiales de innovación se base en políticas que favorezcan la apertura y la cooperación internacional. Ese entorno de apertura y cooperación no debe darse por sentado, especialmente porque en los últimos años la opinión pública se ha vuelto más escéptica en cuanto a los beneficios de la globalización en general.

Por lo tanto, en este último capítulo se revisan los argumentos a favor de la apertura en la búsqueda de la innovación, principalmente desde una perspectiva económica. A veces, las alianzas con innovadores extranjeros y la forma de esas alianzas comportan cuestiones de seguridad nacional que trascienden el alcance del análisis del presente capítulo.

## 5.1 La economía de la apertura

La apertura de los sistemas nacionales de innovación implica el libre intercambio de conocimientos entre las economías. Los conocimientos pueden fluir a través de las fronteras cuando los investigadores se comunican entre sí o cuando leen revistas científicas

y documentos de patente publicados en el extranjero. Ese flujo también se puede dar a través del comercio internacional, cuando los conocimientos son un elemento intrínseco de los bienes y servicios, y mediante la migración, cuando las personas poseen conocimientos.

¿Cómo influyen las restricciones al flujo internacional de conocimientos en las economías nacionales y el mundo en general? La respuesta depende fundamentalmente de los flujos de conocimientos a los que se dirijan las restricciones, las capacidades de los sistemas nacionales de innovación, las pautas de producción y empleo y la naturaleza del proceso de crecimiento económico. Las publicaciones sobre economía, aunque no permite extraer una conclusión definitiva, brindan cierta orientación sobre las repercusiones de las restricciones al flujo de conocimientos, las cuales se intentan resumir en el presente capítulo.

### Beneficios a raíz de la especialización

Una forma simplificada de abordar la cuestión es considerar los conocimientos como si fueran cualquier otro bien. Así como para la producción de automóviles se necesitan insumos de capital y mano de obra, lo mismo sucede con la producción de nuevos conocimientos a través de la innovación.

La restricción de los flujos internacionales de conocimientos sin duda afecta a la forma en que las economías asignan los recursos a las diferentes actividades de producción. Desde ese punto de vista, se cumplen las predicciones tradicionales de la teoría del comercio internacional. Sobre todo, la apertura da lugar a pautas de producción y comercio que permiten que las economías se especialicen en función de su ventaja comparativa. Los economistas especializados en comercio suelen considerar dos fuerzas que dan lugar a la especialización:<sup>4</sup>

- *Diferencias en las dotaciones de los factores.* Una economía con abundantes recursos de capital se especializará en bienes de producción para los que hagan falta fuertes inversiones de capital, los cuales exportará. Por el contrario, una economía con abundantes recursos de mano de obra hará lo propio con bienes cuya producción exige mucha mano de obra, en los que se especializará y que exportará.
- *Variedades diferenciadas y economías de escala.* Cuando los bienes son de variedades diferenciadas

—por ejemplo, diferentes marcas de automóviles— y la producción de esas variedades entraña economías de escala, las economías se especializarán en algunas variedades, que exportarán, e importarán otras.

Estas predicciones pueden arrojar luz sobre importantes facetas de la geografía mundial de la innovación. La innovación necesita mano de obra muy cualificada, lo que explica por qué la mayor parte de la actividad innovadora tiene lugar en países de ingresos altos donde esa mano de obra es relativamente abundante. Al mismo tiempo, la decisión de las empresas multinacionales de ubicar algunas actividades de investigación y desarrollo (I+D) en ciertas economías en desarrollo, como China y la India, refleja la disponibilidad de mano de obra muy cualificada con salarios más bajos, en plena consonancia con las pautas de la ventaja comparativa.<sup>5</sup>

La noción de variedades diferenciadas, a su vez, encuentra su equivalencia en la especialización de diferentes polos de innovación en todo el mundo. Por ejemplo, hay muchos polos de innovación centrados en la tecnología médica, cada una de los cuales ofrece conocimientos especializados de los que no se dispone en otros lugares, lo que genera flujos bidireccionales de conocimientos, incluso entre economías similares. Las redes mundiales de innovación funcionan como intermediarias de esos flujos de conocimientos.

La teoría del comercio sostiene que se obtienen beneficios mutuos del comercio basado en la ventaja comparativa. Esos beneficios se traducen en una mayor eficiencia económica y en una mayor variedad de bienes disponibles para las empresas y los consumidores finales. Dada la naturaleza sumamente especializada de la producción innovadora, el efecto de la variedad parece particularmente importante para el comercio de los conocimientos.

A pesar de esos beneficios mutuos, la teoría del comercio también sostiene que el comercio abierto influye en la distribución de los ingresos dentro de las economías. Esos efectos distributivos son más acusados si las diferencias en las dotaciones de capital y mano de obra dan lugar al comercio internacional. Es decir, son más importantes para el comercio entre economías distintas, especialmente entre economías con diferentes niveles de desarrollo. Como se analizará más adelante, esos efectos distributivos son importantes para las políticas.

## La innovación como bien público mundial

Considerar el conocimiento como cualquier otro bien es útil para explicar aspectos importantes del panorama de la innovación mundial. Sin embargo, se trata de una visión muy simplificada que no tiene en cuenta las características únicas de la producción y el consumo de conocimientos.

Ante todo, los conocimientos tienen atributos de lo que los economistas llaman un bien público: muchas personas pueden utilizarlo al mismo tiempo, sin reducir el uso de los conocimientos por quién los produce.<sup>6</sup> Por ejemplo, la ciencia básica que respalda la inteligencia artificial surgió de un número limitado de organizaciones científicas, pero un gran número de innovaciones recurren a esa ciencia para una amplia variedad de aplicaciones en todo el mundo.<sup>7</sup>

En la práctica, hay límites en cuanto a la amplitud de los conocimientos que se pueden compartir. De hecho, un principio central de la investigación sobre geografía económica es que el conocimiento no fluye libremente en el seno de las economías y a través de ellas; los flujos de conocimientos siguen sesgos y pautas geográficas distintivos.<sup>8</sup> Una de las razones es que la absorción y aplicación de conocimientos de vanguardia requieren a menudo competencias muy especializadas que son escasas.<sup>9</sup> Además, para que fluyan algunas formas de conocimiento, es necesaria la interacción humana, que es precisamente una razón clave para que se aglomere la actividad innovadora (véase el capítulo 1).<sup>10</sup>

Sin embargo, en la medida en que los conocimientos están a la altura de su potencial de bien público, ¿cambia esa circunstancia los argumentos a favor de la apertura? De hecho, los refuerza. Si los flujos de salida de conocimientos generan beneficios económicos en el extranjero sin disminuir el uso de los conocimientos en el país, la apertura puede ser beneficiosa para ambas partes.

## Innovación y crecimiento

Hay otra diferencia importante entre la innovación y otros bienes producidos en la economía. A través de la innovación, las empresas pueden crear una ventaja competitiva con respecto a sus rivales. Un innovador de éxito puede ampliar su cuota de mercado a expensas de una empresa que no esté a la vanguardia. La competencia basada en la innovación, a su vez, impulsa

las mejoras en la productividad y el crecimiento económico a largo plazo.

Dado que las empresas compiten en el escenario mundial, los comentaristas han aplicado la misma lógica a las economías en su conjunto. En consecuencia, las economías que logren innovar crecerán más rápidamente a expensas de las economías que no innoven con éxito.<sup>11</sup> En este mundo de suma cero, la restricción de los flujos de salida de conocimientos ayudaría a las economías a mantener su ventaja innovadora y a evitar “quedarse atrás” con respecto a otras economías que han logrado innovar.

En un principio, en las publicaciones sobre economía internacional se descartan esos escenarios “simplistas” de suma cero. Las economías en su conjunto se diferencian de las empresas en aspectos importantes. Por un lado, las economías en su conjunto no pueden quebrar. Si las empresas de un sector determinado salen del mercado o pierden cuota de mercado debido a la competencia extranjera, liberan mano de obra y capital que pueden utilizarse en otros ámbitos de la economía.

En los sectores cuyo peso aumenta en el mercado internacional sucede lo contrario: atraen mano de obra y capital de otros sectores de la economía. Además, el crecimiento más rápido de la productividad en las economías que innovan con éxito amplía su tamaño y aumenta la demanda de productos extranjeros.

En general, la innovación da lugar a ajustes en los precios, los salarios y los tipos de cambio, lo que provoca variaciones en las pautas de producción y comercio. Es evidente que las economías que logran innovar experimentarán, a largo plazo, un crecimiento económico general más rápido que las que no lo logren. Sin embargo, eso no significa necesariamente que el éxito de una economía impida que otra economía tenga el mismo éxito. De hecho, la naturaleza de bien público de los conocimientos hace pensar que la innovación puede contribuir al crecimiento de la productividad en todas partes.

A pesar de ese optimismo general, dado que los resultados de la innovación nacional configuran las pautas de producción y comercio, es concebible que una economía acabe especializándose en actividades que la sitúen en una trayectoria de crecimiento más rápido o más lento de carácter permanente. Así pues, la restricción estratégica de los flujos comerciales y de

conocimientos podría inclinar las pautas de producción de manera que se favorezca un crecimiento nacional más rápido. En el recuadro 5.1 se resume la investigación teórica que define las condiciones en que pueden surgir esos resultados de “suma cero”.

---

#### Recuadro 5.1 Fundamentos teóricos de la política comercial estratégica

Una rama de la teoría del comercio en la década de 1980 y principios de la década de 1990 se dedicó a analizar las circunstancias en las que las desviaciones de las políticas de libre comercio pueden mejorar el bienestar. Muchos modelos subyacentes se centraban en mercados que no son perfectamente competitivos y en políticas comerciales que podrían aumentar la proporción de beneficios económicos excesivos que fluyen a las economías nacionales.<sup>12</sup> Algunas teorías más complejas también explicaron el papel de la innovación en el impulso del crecimiento a largo plazo. El libro de Gene Grossman y Elhanan Helpman (1991) recoge el análisis más detallado de estas últimas teorías.

En los modelos pertinentes, las empresas invierten en I+D con la perspectiva de cosechar rentas económicas en mercados de productos que no son perfectamente competitivos. Las fuerzas competitivas del mercado, a su vez, mantienen los incentivos para invertir de forma continua en I+D, generando así los incrementos de productividad que sostienen el crecimiento a largo plazo. Teniendo en cuenta la competencia a nivel mundial de las empresas, los modelos analizan la interdependencia de los procesos de crecimiento en los distintos países.

Las predicciones derivadas de esos modelos confirman, en primer lugar, el optimismo general expresado en el libro: las interacciones mundiales generan fuerzas que aceleran el crecimiento en todos los países. No obstante, también señalan las razones por las que es posible que no siempre se dé esa situación. Por ejemplo:

- Supongamos que una economía tiene una desventaja comparativa en materia de investigación debido a que dispone de poca mano de obra muy cualificada. La integración en el resto del mundo podría llevar a esa economía a especializarse en actividades más estancadas, con un

crecimiento general más lento de la producción.

- Supongamos que el conocimiento no fluye fácilmente a través de las fronteras, porque es difícil hacer ingeniería inversa o hacen falta capacidades críticas que no están disponibles en los países receptores, como se describe en el libro. Así, la integración puede llevar a las economías de pequeño tamaño —que históricamente han realizado pocas investigaciones— a especializarse en actividades manufactureras, lo que impide el inicio de la actividad innovadora. De hecho, las pequeñas diferencias en las condiciones iniciales entre las economías pueden dar lugar a diferencias perpetuas en el crecimiento de la productividad.

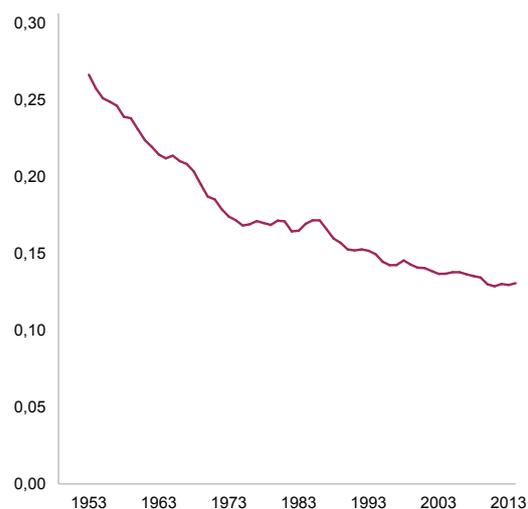
Ante esas fuerzas, el comercio estratégico y las políticas conexas bien podrían reorientar las pautas de producción y alterar la trayectoria de crecimiento de una economía. En la práctica, resulta difícil aplicar con éxito esas políticas. La elección de los instrumentos de política depende fundamentalmente de las condiciones iniciales, el carácter evolutivo de la competencia y las oportunidades tecnológicas. Dado que el camino futuro de la tecnología y sus consecuencias para los mercados son muy inciertos, la elección de la combinación adecuada de políticas con miras al futuro constituye un desafío formidable.

---

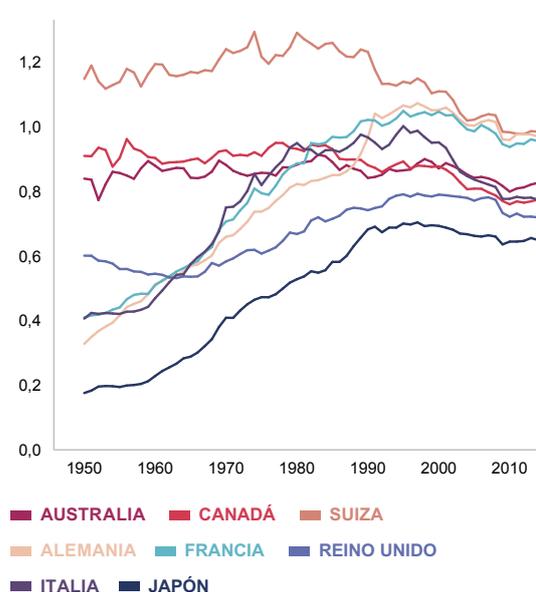
El hecho de que esas condiciones prevalezcan en la práctica es, en última instancia, una cuestión empírica. Responder con rigor no es fácil, ya que no se sabe cómo evolucionarían las diferentes economías con diferentes políticas comerciales y de flujo de conocimientos. Sin embargo, se puede observar la experiencia real de crecimiento de las economías de todo el mundo en los últimos decenios. Una tendencia importante es que las economías de ingresos altos de la actualidad han experimentado un crecimiento notablemente similar en los últimos 40 años. Antes de 1980, los ingresos per cápita de las economías más pobres de ingresos altos experimentaron un crecimiento más rápido que los de las economías más ricas de ingresos altos. Con todo, ese proceso de convergencia se acabó ralentizando (gráfico 5.1). Si bien persisten las diferencias en los ingresos per cápita, las economías más avanzadas han crecido en gran medida a un ritmo similar desde la década

## Las economías de ingresos altos crecen a un ritmo similar

**Gráfico 5.1 Coeficiente de Gini, PIB real per cápita, grupo de economías de ingresos altos**



**Gráfico 5.2 PIB real por hora trabajada, en comparación con los Estados Unidos**



Nota: El coeficiente de Gini mide la distribución de los ingresos en una escala de 0 a 1; cuanto más bajo es el valor, mayor es la igualdad. Los coeficientes de PIB per cápita de la gráfico 5.2 se basan en las cifras del PIB real en dólares de los Estados Unidos constantes de 2011, en las que 1,0 representa la paridad con los Estados Unidos. Los valores superiores a 1,0 significan que el PIB por hora trabajada de un país es mayor que el de los Estados Unidos. El grupo de países de ingresos altos incluye a Alemania, Australia, Austria, Bélgica, el Canadá, Dinamarca, España, los Estados Unidos, Finlandia, Francia, Irlanda, Israel, Italia, el Japón, Noruega, Nueva Zelanda, los Países Bajos, el Reino Unido, la República de Corea, Suecia y Suiza. Fuente: Penn World Table, versión 9.0. Puede consultarse en [www.ggd.net/pwt](http://www.ggd.net/pwt)

de 1990 (gráfico 5.2). Esa circunstancia parece indicar que las nuevas tecnologías se han difundido sin problemas en el conjunto de las economías que ya se encuentran en la frontera tecnológica y han estimulado el crecimiento en magnitudes comparables.

Al margen del grupo de economías de ingresos altos, la experiencia de crecimiento ha tenido resultados diversos. Durante mucho tiempo, los ingresos en todo el mundo divergieron.<sup>13</sup> En 1870, el producto interno bruto (PIB) per cápita de la economía más rica era alrededor de diez veces mayor que el de la más pobre; en 2008, esa brecha se había ampliado a un factor de 126.<sup>14</sup> Durante mucho tiempo, las economías más pobres no crecieron más rápido que las más ricas. Los datos más recientes —desde la década de 1990— indican un giro de esa tendencia, al converger los ingresos en todas las economías. En otras palabras, desde la década de 1990, las economías más pobres han crecido, en promedio, más rápido que las más ricas.<sup>15</sup> A pesar de ese giro de tendencia, la convergencia media no significa convergencia universal o automática. Algunas economías más pobres han tenido más éxito que otras a la hora de alcanzar a las más ricas. Los países en desarrollo de Asia Oriental y, más recientemente, la India, han logrado resultados especialmente satisfactorios en ese sentido. Dado el papel central que desempeñan en el proceso de crecimiento, los flujos de conocimientos y la innovación deben formar parte de la explicación de esas tendencias. Sin embargo, sigue siendo objeto de un amplio debate qué fuerzas estructurales y qué políticas económicas en concreto han favorecido el crecimiento convergente.<sup>16</sup> Una visión pesimista es que la concentración histórica de actividades innovadoras en un conjunto limitado de economías y las sólidas fuerzas de aglomeración asociadas a esas actividades refuerzan una división mundial entre el núcleo y la periferia. Aunque las políticas no restrinjan los flujos de conocimientos, esa división fomenta trayectorias de desarrollo divergentes. Una visión más optimista es que la innovación se extiende a la larga más allá del grupo central de innovadores; con las políticas adecuadas, las economías de la periferia pueden absorber los conocimientos foráneos y acortar distancias.

En conclusión, en las publicaciones sobre economía se ofrecen buenas razones por las que la apertura es beneficiosa en la búsqueda de la innovación. Teóricamente, puede haber circunstancias en que las restricciones estratégicas a los flujos de comercio y de conocimientos podrían alterar las trayectorias de

crecimiento de las economías. Sin embargo, es difícil traducir esa posibilidad teórica en propuestas de política concretas. Como se señala en el recuadro 5.1, la adopción de los instrumentos de política adecuados con miras al futuro constituye un desafío formidable. En la práctica, puede resultar difícil impedir que el conocimiento fluya al extranjero, si no se restringen al mismo tiempo los conocimientos que circulan dentro de las economías. Además, las opciones de política de una economía pueden provocar respuestas de política de otras economías. Esa reciprocidad de políticas puede perfectamente socavar los argumentos a favor de limitar de manera estratégica la apertura. Por último, la experiencia de crecimiento de las economías de ingresos altos en los últimos decenios indica que las nuevas tecnologías tienen un efecto general de suma positiva.

## 5.2 La apertura en una época de caída de la productividad de la I+D

Los argumentos a favor de la apertura se refuerzan aún más cuando se considera el contexto en el que la innovación tiene lugar hoy en día. Se está volviendo extremadamente difícil continuar con el avance de la vanguardia tecnológica. Los datos apuntan a que para alcanzar el mismo nivel de progreso tecnológico que en el pasado se requiere cada vez un mayor esfuerzo en I+D. Por ejemplo, Gordon Moore —cofundador de Intel— predijo en 1975 que el número de transistores en un chip de computadora se duplicaría cada dos años. Lo que se conoció como la Ley de Moore se ha cumplido aproximadamente hasta la actualidad. Sin embargo, para duplicar la densidad de los chips, hoy en día se necesitan 18 veces más investigadores que a principios de la década de 1970.<sup>17</sup>

Otros campos de la tecnología muestran signos similares de ralentización de la productividad de la I+D: se necesita una cantidad de I+D médica varias veces mayor para lograr aumentos similares de la esperanza de vida que en el pasado; las inversiones en I+D agrícola han crecido más rápidamente que los aumentos de los rendimientos de los cultivos agrícolas.<sup>18</sup> En líneas más generales, la mayoría de las economías de ingresos altos han experimentado una disminución gradual del crecimiento de la productividad económica durante el último medio siglo. El economista Robert Gordon ha atribuido ese descenso a las innovaciones de los últimos años que impulsaron el crecimiento de la productividad en menor medida que las innovaciones

del pasado más lejano.<sup>19</sup> En particular, sostiene que las innovaciones asociadas a la segunda revolución industrial apoyaron el rápido crecimiento de la productividad en las economías de ingresos altos hasta la década de 1970; las innovaciones asociadas a la tercera revolución industrial (digital) no han podido sostener un crecimiento tan rápido de la productividad.

Las políticas no pueden alterar las oportunidades de progreso tecnológico. Sin embargo, las políticas determinan hasta qué punto se aprovechan esas oportunidades. Determinan la cantidad de recursos que se invierten en I+D, cómo se realiza la I+D y la manera en que las innovaciones encuentran su camino en la economía. La caída de la productividad de la I+D exige un aumento constante de las inversiones en innovación, tanto en la investigación científica como en la I+D aplicada. También exige colaboración y apertura. Para encontrar soluciones a problemas tecnológicos cada vez más complejos se necesitan equipos de investigadores más grandes (véase el capítulo 2) y una mayor especialización en la investigación. La apertura y la colaboración internacional promueven esa especialización y pueden ayudar a frenar el descenso de la productividad de la I+D.

Para que la apertura funcione, las instancias responsables de la formulación de políticas deben ir más allá del simple desmantelamiento de los obstáculos fronterizos. La cooperación internacional desempeña un papel importante en el apoyo a la apertura. Igualmente importante es que las instancias responsables de la formulación de políticas aborden los desequilibrios regionales que la apertura puede fomentar en parte. En la parte final del presente capítulo se examinan esas dos dimensiones críticas.

## Fomento de la cooperación internacional

La cooperación internacional en materia de innovación presenta numerosas dimensiones. Una dimensión importante es promover incentivos para las inversiones en innovación que reflejen las demandas y el tamaño de la economía mundial. El establecimiento de normas internacionales para la protección de los derechos de propiedad intelectual (PI) sirve para ese propósito. En la práctica, los tratados internacionales sobre PI suelen establecer el principio de no discriminación, es decir, que las leyes nacionales traten por igual a los titulares de PI nacionales y extranjeros. También establecen ciertas normas para la protección de los diferentes

tipos de PI, por ejemplo, qué invenciones deberían ser admisibles para la protección de patentes o cuánto tiempo deberían durar los derechos de autor. Al mismo tiempo, esas normas no armonizan plenamente la protección de la PI en todo el mundo y dejan margen para que las políticas nacionales adapten la protección de la PI a las necesidades nacionales.

Una segunda dimensión importante es promover la facilidad de hacer negocios a nivel internacional. Las empresas innovadoras y los trabajadores del conocimiento se enfrentan a varias medidas reglamentarias cuando operan en los mercados de todo el mundo. El fomento de la compatibilidad de los sistemas normativos nacionales puede contribuir a reducir los costos del cumplimiento de la reglamentación. Por ejemplo, cierto nivel de reconocimiento de las normas reglamentarias extranjeras puede reducir la duplicación inútil de ensayos de productos y el papeleo asociado, sin comprometer necesariamente los objetivos reglamentarios. El reconocimiento de las cualificaciones extranjeras de acuerdo con las normas nacionales puede ayudar a facilitar la movilidad internacional de los trabajadores del conocimiento. Los diálogos periódicos entre los organismos nacionales de reglamentación son la base de esos marcos de reconocimiento. Del mismo modo, el establecimiento de normas técnicas a nivel internacional puede evitar la costosa adaptación de los productos a los diferentes mercados. En el ámbito de la PI, los tratados de la OMPI sobre presentación de solicitudes internacionales —en concreto, el Tratado de Cooperación en materia de Patentes, el Sistema de Madrid y el Sistema de La Haya— facilitan la adquisición de derechos de PI en muchos países mediante la presentación de una única solicitud internacional; la concesión definitiva de los derechos de PI sigue siendo una decisión nacional.

Por último, los gobiernos pueden aunar recursos y financiar proyectos científicos de gran escala que vayan más allá de las dotaciones de los presupuestos nacionales o que requieran conocimientos técnicos disponibles en diferentes países. El CERN —mencionado al principio del presente capítulo— es un buen ejemplo de esa cooperación. Otro ejemplo es la Estación Espacial Internacional; se trata de un proyecto conjunto entre las agencias espaciales nacionales del Canadá, los Estados Unidos, la Federación de Rusia y el Japón, así como la Agencia Espacial Europea. Se puso en marcha en 1998 y ha recibido más de 200 visitantes de 18 países diferentes.<sup>20</sup>

## Corrección de los desequilibrios regionales

Como se analizó en el capítulo 1, una tendencia preocupante de los últimos decenios es la creciente polarización interregional de los ingresos, la actividad innovadora, el empleo altamente cualificado y los salarios dentro de los países. Hasta la década de 1980, la mayoría de las economías de ingresos altos experimentaron una constante convergencia de ingresos entre regiones.<sup>21</sup> Las regiones pobres de los países han acortado la distancia que las separaba de las regiones ricas. Desde entonces, la convergencia interregional se ha ralentizado y, en algunos casos, se ha llegado a invertir. En los Estados Unidos, el proceso de convergencia se desaceleró notablemente a partir de la década de 1990.<sup>22</sup> Las economías europeas también han experimentado una ralentización de la convergencia regional y, desde el inicio de la gran recesión en 2008, una divergencia absoluta. Unas pocas regiones pujantes de las economías europeas con niveles de ingresos ya altos han experimentado un crecimiento sustancialmente más rápido que muchas de las regiones más pobres.<sup>23</sup>

Hay muchas razones para la polarización de las actividades económicas en los países. La disminución de la importancia de la agricultura y la minería en la producción económica ha favorecido durante mucho tiempo una atracción gravitatoria hacia las grandes ciudades. En una economía basada en el conocimiento y dominada por los servicios, las empresas tienen fuertes incentivos para ubicarse en las grandes áreas metropolitanas. Se podría decir que la apertura refuerza la atracción gravitatoria hacia las regiones más pujantes. Los núcleos de innovación más vibrantes, que están integrados en las redes de innovación mundial, suelen estar ubicados en lo que ya son las aglomeraciones metropolitanas más ricas de los países. Su éxito internacional refuerza su liderazgo nacional. Como se describe en el capítulo 1, las aglomeraciones de innovaciones exitosas también pueden registrar divergencias en los ingresos dentro de ellas, dado que el rápido crecimiento de los empleos altamente cualificados ejerce presión sobre los ingresos disponibles para las ocupaciones de baja cualificación. Israel constituye un buen ejemplo de cómo las florecientes actividades de innovación han suscitado inquietudes acerca de una economía de doble vía (véase el recuadro 5.2).

Corregir esos crecientes desequilibrios regionales es uno de los retos más difíciles para los responsables de la formulación de políticas. Intentar invertir la atracción

gravitatoria de las regiones exitosas puede que no sea factible ni deseable. En concreto, restringir la participación en las redes de innovación de carácter mundial reduciría la capacidad de una economía para generar innovaciones de vanguardia. En cualquier caso, la apertura es solo uno de los factores que contribuyen a los desequilibrios regionales.<sup>24</sup> La transformación estructural a largo plazo de la actividad económica es, sin duda, el factor fundamental de esos desequilibrios. La migración interna de las regiones más retrasadas a las regiones prósperas solo ofrece una solución parcial a la divergencia regional. Es posible que las personas no tengan la capacidad o la voluntad de desplazarse. Los altos precios de la vivienda en las regiones prósperas constituyen por sí solos un obstáculo importante para la migración interna.<sup>25</sup>

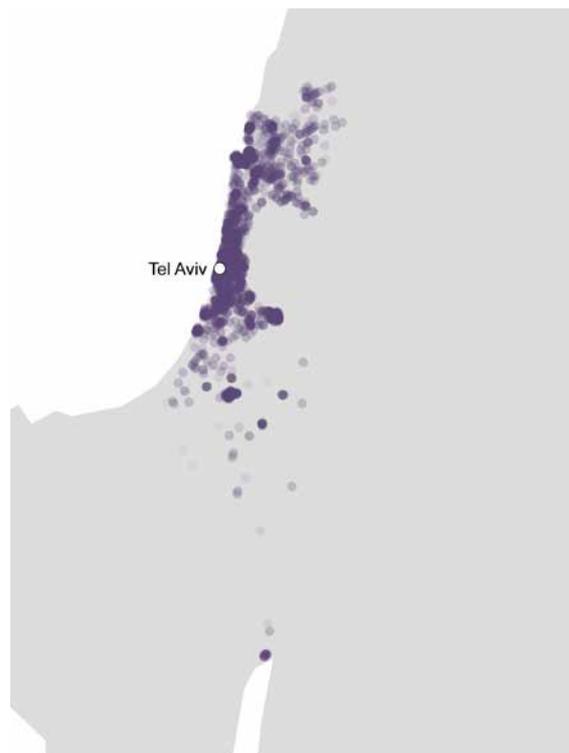
Las políticas pueden contribuir de manera importante al apoyo a las regiones que se han quedado rezagadas. El apoyo al desarrollo de las regiones más débiles tiene, por supuesto, un largo historial, con éxito desigual. Una revisión completa de las iniciativas históricas en materia de políticas queda fuera del alcance del presente informe. No obstante, varias investigaciones recientes señalan algunas consideraciones importantes a la hora de diseñar políticas de apoyo regionales:<sup>26</sup>

- De preferencia, las estrategias de desarrollo regional deberían tratar de aprovechar las capacidades y ventajas existentes en las regiones y tratar de ampliarlas mediante inversiones en infraestructura, educación y tecnología. Las capacidades y ventajas existentes pueden tomar la forma de tierras y mano de obra relativamente baratas y de capacidades industriales predominantes, así como de los activos de reputación.
- La formulación de políticas debería determinar los principales obstáculos para el crecimiento de las capacidades existentes y basarse en la aportación de todas las partes interesadas locales pertinentes.
- Las políticas de desarrollo resultantes deberían ser objeto de una evaluación periódica. Los hallazgos consiguientes deberían orientar la adaptación de las políticas futuras.

Sin invertir la atracción gravitatoria de las regiones exitosas, esas políticas pueden garantizar que el crecimiento impulsado por la innovación beneficie a las economías en su conjunto. De esa manera, respaldan de manera fundamental la apertura de los sistemas nacionales de innovación.

## La zona de Tel Aviv acoge a la mayoría de los inventores israelíes

Gráfico 5.3 Mapa de calor de los inventores que figuran en las solicitudes de patentes (2008-2018)



Fuente: OMPI, a partir de datos de PATSTAT y del PCT (véanse las Notas técnicas). Nota: Cifras de patentes basadas en las familias de patentes internacionales.

---

### Recuadro 5.2 El próspero sistema de innovación de Israel: ¿nación de empresas emergentes o región de empresas emergentes?

Israel tiene una próspera economía basada en la innovación. En relación con el tamaño de su PIB, ningún otro país gasta más en I+D y atrae más inversiones de capital riesgo. La mayoría de las empresas de tecnología líderes en el mundo han establecido centros de I+D en Israel para aprovechar las capacidades y la experiencia disponibles en la dinámica comunidad investigadora del país. Las empresas israelíes marcan la tendencia en muchos campos —sobre todo en el de la ciberseguridad—. Su animada escena de empresas emergentes ha hecho que Israel se gane el apodo de “nación de empresas emergentes”.

La pujante economía de la innovación de Israel ha sido un factor clave para el crecimiento de la economía en general. Entre 2008 y 2018, la economía de Israel creció a una tasa anual promedio del 3,5%, superando una vez más a la mayoría de las economías desarrolladas.<sup>27</sup> El desempleo cayó a un mínimo histórico del 4% en 2018.<sup>28</sup>

Sin embargo, el apodo enmascara la alta concentración geográfica de la actividad de innovación en Israel. El área metropolitana de Tel Aviv se destaca con claridad como región más pujante. En ella se encuentran el 77% de todas las empresas emergentes y el 60% de todos los empleos del sector de alta tecnología.<sup>29</sup> Acoge a más de la mitad de los inventores israelíes que figuran en las solicitudes de patentes (véase la gráfica 5.3).

Los salarios en las regiones periféricas son aproximadamente un 35% más bajos que en el centro de Israel. El dominio de Tel Aviv incluso se ha intensificado en los últimos años. En la región se registraron más de dos terceras partes del crecimiento de los empleados del sector de alta tecnología entre 2015 y 2017.<sup>30</sup> Tel Aviv también está muy conectada con los principales núcleos de innovación de escala mundial, al ofrecer, por ejemplo, vuelos sin escalas a San Francisco.

Al igual que en otros núcleos de innovación de escala mundial, Tel Aviv ha visto crecer la preocupación de que la expansión de las empresas tecnológicas esté provocando un aumento de los precios de la vivienda y de las disparidades de ingresos.<sup>31</sup>

El Gobierno de Israel reconoce que la atracción gravitatoria de la región de Tel Aviv refleja las ventajas regionales relativas y las fuerzas de aglomeración naturales. Sin embargo, también se da cuenta de que ese desequilibrio regional suscita desafíos económicos y sociales. Como resultado, el Organismo Estatal de Innovación de Israel ha adoptado una estrategia para impulsar la economía de la periferia a través de la innovación.

Esa estrategia tiene cuatro pilares centrales:<sup>32</sup>

- conectar el capital humano de la periferia con las principales empresas de alta tecnología;
- promover la innovación tecnológica en la periferia en los sectores manufacturero, agrícola y alimentario;
- alentar el espíritu empresarial que se basa en las instituciones académicas locales y otras fuentes autóctonas de conocimientos y experiencia industrial; y
- fortalecer el ecosistema de alta tecnología en esas regiones —a saber, Haifa, Jerusalén y Beersheba— que tienen las bases esenciales para ese ecosistema.

Estos pilares buscan tanto reducir la creciente escasez de trabajadores altamente cualificados en la economía de la innovación como promover el desarrollo de las regiones que en la actualidad se encuentran rezagadas, con miras a generar un crecimiento nacional más equilibrado.

---

## Notas

- 1 Véase OMPI (2015).
- 2 Véase el estudio de caso sobre biotecnología agrícola del capítulo 4.
- 3 Visite [home.cern](http://home.cern). Israel es el único miembro del CERN de fuera de Europa.
- 4 Véase Krugman *et al.* (2018). Las diferencias en los niveles de productividad entre los países son un tercer factor que impulsa la especialización.
- 5 Las diferencias en la dotación de factores también pueden explicar las pautas de la migración internacional. Por lo tanto, los trabajadores altamente cualificados —por ejemplo, los ingenieros de software de la India— tienden a trasladarse a las economías de ingresos altos donde se les pagan salarios más altos (véase Krugman *et al.*, 2018). Es cierto que los salarios más bajos del personal de I+D no son sino una de las motivaciones de las empresas multinacionales para ubicar las actividades de I+D en las economías en desarrollo; el potencial de crecimiento de los mercados locales suele ser otro factor importante (véase Thursby y Thursby, 2006).
- 6 El economista Kenneth Arrow, premio Nobel, fue el primero en observar la naturaleza de bien público del conocimiento (Arrow, 1962). Aparte de no rivalizar con el consumo, los productores de conocimiento no pueden —sin la protección de la PI— excluir a otros del uso de los conocimientos comunicados al público. Véase OMPI (2011) para más información.
- 7 Véase OMPI (2019).
- 8 Véase Crescenzi *et al.* (2019).
- 9 Véase Cohen y Levinthal (1989) para consultar una de las primeras contribuciones sobre la importancia de la capacidad de absorción.
- 10 Véase von Hippel (1994).
- 11 Esos argumentos se hicieron patentes por primera vez en la década de 1980, cuando se consideró que el rápido crecimiento de las economías de Asia Oriental amenazaba el dominio tecnológico de las economías occidentales (véase, por ejemplo, Tyson, 1984).
- 12 Véase Brander y Spencer (1985) para consultar una contribución fundamental al respecto.
- 13 Pritchett (1997) caracterizó la tendencia histórica a largo plazo como “divergencia a lo grande”.
- 14 Véase OMPI (2015).
- 15 Véase Patel *et al.* (2018).
- 16 Véase OMPI (2015).
- 17 Véase Bloom *et al.* (2019).
- 18 Véase Bloom *et al.* (2019). Los autores también documentan la disminución de la productividad en I+D cuando analizan los datos de las empresas en el conjunto de la economía de los Estados Unidos. Además, consideran y rechazan la posibilidad de que la aparición de nuevas tecnologías compense la disminución de la productividad de la I+D en las tecnologías existentes.
- 19 Véase Gordon (2018).
- 20 Visite [es.wikipedia.org/wiki/Estaci%C3%B3n\\_Espacial\\_Internacional](https://es.wikipedia.org/wiki/Estaci%C3%B3n_Espacial_Internacional).
- 21 Véase Crescenzi *et al.* (2019).
- 22 Véase Ganong y Shoag (2017).
- 23 Véase Alcidi *et al.* (2018).
- 24 Tras revisar dos decenios de investigación, Helpman (2018) concluye que la globalización es responsable solo de un pequeño aumento de la desigualdad dentro de las naciones.
- 25 Véase Ganong y Shoag (2017).
- 26 Véase Foray (2015) y Rodríguez-Pose (2018).
- 27 Basado en los valores constantes del PIB en dólares de los Estados Unidos de 2010, según los datos del Banco Mundial.
- 28 Según el perfil de Israel de la Organización Internacional del Trabajo.
- 29 Véase Autoridad de Innovación de Israel (2019).
- 30 Véase Autoridad de Innovación de Israel (2019).
- 31 Véase Srivastava (2018).
- 32 Véase Organismo Estatal de Innovación de Israel (2019).

## Referencias

- Alcidi, C., J.N. Ferrer, M. Di Salvo, R. Musmeci and M. Pilati (2018). Income Convergence in the EU: A Tale of Two Speeds. *Commentary*, January 9. Brussels: Centre for European Policy Studies.
- Arrow, K. (1962). Economic welfare and the allocation of resources for invention. In Nelson, R.R. (ed.), *The Rate and Direction of Inventive Activity: Economic and Social Factors*. Princeton, NJ: Princeton University Press, 609–626.
- Bloom, N., C.I. Jones, J. Van Reenen and M. Webb (2019). Are Ideas Getting Harder to Find? *NBER Working Paper Series, No. 23782*. Cambridge, MA: National Bureau of Economic Research.
- Brander, J.A. and B.J. Spencer (1985). Export subsidies and international market share rivalry. *Journal of International Economics*, 18(2), 83–100.
- Cohen, W.M. and D.A. Levinthal (1989). Innovation and learning: two faces of R&D. *Economic Journal*, 99, 569–596.
- Crescenzi, R., S. Iammarino, C. Ioramashvili, A. Rodríguez-Pose and M. Storper (2019). The Geography of Innovation: Local Hotspots and Global Innovation Networks. *WIPO Economic Research Working Paper No. 57*. Geneva: WIPO.
- Foray, D. (2015). *Smart Specialisation: Opportunities and Challenges for Regional Innovation Policy*. Abingdon: Routledge.
- Ganong, P. and D. Shoag (2017). Why has regional income convergence in the U.S. declined? *Journal of Urban Economics*, 102, 76–90.
- Gordon, R.J. (2018). Declining American economic growth despite ongoing innovation. *Explorations in Economic History*, 69, 1–12.
- Grossman, G.M. and E. Helpman (1991). *Innovation and Growth in the Global Economy*. Cambridge, MA: MIT Press.
- Helpman, E. (2018). *Globalization and Inequality*. Cambridge, MA: Harvard University Press.
- Israel Innovation Authority (2019). *State of Innovation in Israel 2018*. [www.innovationisrael.org.il](http://www.innovationisrael.org.il)
- Krugman, P.R., M. Obstfeld and M. Melitz (2018). *International Economics: Theory and Policy* (11<sup>th</sup> edition). Boston, MA: Pearson Education.
- Patel, D., J. Sandefur and A. Subramanian (2018). Everything you know about cross-country convergence is (now) wrong. *Realtime Economic Issues Watch*, October 15. Peterson Institute for International Economics. [www.piie.com/blogs/realtime-economic-issues-watch/everything-you-know-about-cross-country-convergence-now-wrong](http://www.piie.com/blogs/realtime-economic-issues-watch/everything-you-know-about-cross-country-convergence-now-wrong)
- Pritchett, L. (1997). Divergence, big time. *Journal of Economic Perspectives*, 11(3), 3–17.
- Rodríguez-Pose, A. (2018). The revenge of the places that don't matter. *VOX*, February 6. [voxeu.org/article/revenge-places-dont-matter](http://voxeu.org/article/revenge-places-dont-matter)
- Srivastava, M. (2018). Israel's tech expansion stokes glaring inequality in Tel Aviv. *Financial Times*, December 10.
- Thursby, J. and M. Thursby (2006). *Here or There? A Survey of Factors in Multinational R&D Location*. Washington, D.C.: The National Academies Press.
- Tyson, L.D. (1984). *Who's Bashing Whom: Trade Conflict in High-technology Industries*. Washington, D.C.: Institute for International Economics.
- von Hippel, E. (1994). 'Sticky information' and the locus of problem solving: implications for innovation. *Management Science*, 40, 429–439.
- WIPO (2011). *World Intellectual Property Report 2011: The Changing Face of Innovation*. Geneva: WIPO.
- WIPO (2015). *World Intellectual Property Report 2015: Breakthrough Innovation and Economic Growth*. Geneva: WIPO.
- WIPO (2019). *Technology Trends 2019: Artificial Intelligence*. Geneva: WIPO.



## Notas técnicas

### Grupos de países por ingresos

Este informe utiliza la clasificación de las economías mundiales en función de los ingresos realizada por el Banco Mundial para referirse a grupos de países concretos. La clasificación se basa en el ingreso nacional bruto per cápita en 2018 y establece los siguientes cuatro grupos: economías de ingresos bajos (1.025 dólares de los Estados Unidos o menos); economías de ingresos medianos bajos (1.026 a 3.995 dólares de los Estados Unidos); economías de ingresos medianos altos (3.996 a 12.375 dólares de los Estados Unidos); y economías de ingresos altos (12.376 dólares de los Estados Unidos o más).

Se puede consultar más información sobre esta clasificación en [data.worldbank.org/about/country-classifications](https://data.worldbank.org/about/country-classifications)

### Grupos de países por regiones

Las regiones de países utilizadas en el presente informe se ciñen en gran medida a las regiones geográficas de los *Códigos uniformes de país o de zona para uso estadístico*, 1999 (Revisión 4), conocidos como M49 y publicados por la División de Estadística del Departamento de Asuntos Económicos y Sociales de las Naciones Unidas. La metodología completa se puede consultar en [unstats.un.org](https://unstats.un.org).

Para simplificar el análisis, se han introducido algunos cambios en esa metodología, a saber: *Europa occidental* abarca Alemania, Andorra, Austria, Bélgica, Dinamarca, España, Finlandia, Francia, Grecia, Irlanda, Islandia, Italia, Liechtenstein, Luxemburgo, Malta, Mónaco, Noruega, los Países Bajos, Portugal, San Marino, el Reino Unido, Suecia y Suiza. *Europa central y oriental* abarca todos los países de las regiones de *Europa septentrional* y *Europa meridional* del M49 que no están incluidos en *Europa occidental*. Las subregiones geográficas de *Asia meridional*, *Asia central* y *Asia sudoriental* se agrupan en una categoría, en la que también está incluida Mongolia.

### Datos de las publicaciones científicas

Los datos de las publicaciones científicas que se utilizan en el presente informe provienen de 27.726.805 registros publicados desde 1998 hasta 2017 en el Science Citation Index Expanded (SCIE) de la *Web of Science* (WOS), la base de datos de citas que gestiona la empresa Clarivate Analytics. El análisis se centra en

23.789.354 observaciones que se refieren únicamente a artículos científicos, actas de conferencias, resúmenes científicos y artículos de datos. Los artículos científicos constituyen el grueso del conjunto de datos resultante.

### Datos de patentes

Los datos de patentes utilizados en el presente informe proceden de la Base Mundial de Datos sobre Estadísticas de Patentes (PATSTAT, abril de 2019) de la Oficina Europea de Patentes (OEP) y de las colecciones del Tratado de Cooperación en materia de Patentes (PCT) de la OMPI. En el período analizado (1970-2017), esas fuentes abarcan 49.286.675 primeras solicitudes de patente y 26.626.660 solicitudes de patente posteriores, lo que suma 75.913.335 solicitudes de patente de 168 oficinas de patentes diferentes.

La principal unidad de análisis es la primera solicitud presentada, un conjunto de documentos de patente presentados en uno o varios países que reivindican la misma invención. Se define como familia de patentes una serie de documentos que contienen una primera solicitud presentada y potencialmente varias solicitudes posteriores. En el análisis también se distinguen las familias de patentes multijurisdiccionales —también denominadas familias de patentes internacionales— de las familias de patentes nacionales. Las familias de patentes multijurisdiccionales hacen referencia a las invenciones para las que el solicitante ha pedido protección mediante patente en oficinas de patentes distintas a las de su país de origen. Esta definición incluye también las solicitudes de patente de los solicitantes que presentan solicitudes únicamente en el extranjero, que presentan solicitudes únicamente a través del sistema del PCT o que presentan solicitudes únicamente ante la OEP. De manera recíproca, las familias de patentes nacionales hacen referencia a las solicitudes de patente que se han presentado solo en la oficina del país de origen del solicitante, independientemente del número de solicitudes presentadas en la oficina del país de origen del solicitante para la misma familia, sin que se haya presentado ninguna solicitud posterior en el extranjero a través de las vías de París o del PCT. Asimismo, las solicitudes de patentes con solicitantes de más de un origen son por definición familias de patentes multijurisdiccionales. Además, alrededor del 30% de las familias de patentes guardan relación únicamente con la protección de los modelos de utilidad, que en su mayoría son solo nacionales.

A menos que se indique lo contrario, el informe utiliza las familias internacionales de patentes solo como unidad de análisis para todas las estadísticas de patentes de las que se informa, lo que abarca principalmente la cobertura incompleta de las patentes (y los modelos de utilidad) nacionales de muchas colecciones nacionales de PATSTAT. Si bien las principales oficinas nacionales e internacionales suelen tener una cobertura adecuada —a saber, la Oficina de Patentes y Marcas de los Estados Unidos (USPTO), la Oficina Japonesa de Patentes (JPO), la Oficina Surcoreana de Propiedad Intelectual (KIPO), la Administración Nacional de Propiedad Intelectual de China (CNIPA), la OEP y la OMPI—, otras oficinas apenas están representadas en PATSTAT. Por ejemplo, la cobertura en PATSTAT de los datos de las colecciones nacionales de unas 20 oficinas de patentes principales —como la India, Indonesia, México, la República Islámica del Irán y Turquía— es limitada. Como resultado, el informe utiliza la información de 8.955.990 familias de patentes internacionales que contienen 35.582.650 solicitudes de patentes diferentes.

### Geocodificación

La geocodificación —es decir, la atribución de la latitud y la longitud a un lugar determinado— de los datos de las publicaciones científicas y de las patentes se realizó utilizando toda la información disponible sobre las direcciones y la labor de geocodificación ya existente para esos datos.

En el caso de las publicaciones científicas, el informe da por supuesto que la investigación realizada para las publicaciones tiene lugar en las instituciones y organizaciones a las que los autores declaran su afiliación. El 97% de todas las direcciones de afiliación disponibles estaban geocodificadas a nivel de código postal u otro nivel de distrito. En el caso de los autores con más de una afiliación en la misma publicación, se consideraron todas las direcciones diferentes.

En el caso de las patentes, el 87% de las familias de patentes internacionales presentadas desde 1976 hasta 2015 estaba geocodificada. En la mayoría de los casos en que no había geocodificación no había información utilizable sobre la dirección. En la medida de lo posible, la geocodificación se aplicó a las direcciones de los inventores utilizando la fuente de datos más completa y fiable disponible dentro de cada familia de patentes. Además, los datos fueron enriquecidos con datos geocodificados de patentes existentes (véase Yin y Motohashi, 2018; Ikeuchi *et al.*, 2017; Li *et al.*, 2014; de

Rassenfosse *et al.*, 2019; Morrison *et al.*, 2017). Se analizaron y consolidaron todas estas fuentes y la geocodificación de la OMPI para obtener los mejores datos geocodificados posibles para cada familia de patentes. Cuando había más de una fuente para una familia de patentes determinada, se daba el siguiente orden de prioridad: 1) fuentes que tenían información del inventor (principio del inventor); 2) fuentes que abarcaban más direcciones de inventores (principio de cobertura); 3) fuentes con la mejor resolución de geocodificación (principio de resolución); 4) fuentes más cercanas al país de la dirección —por ejemplo, mediante la asignación de las direcciones en chino a los datos del CNIPA, las direcciones en japonés a los datos de los JPO, etc. (principio local)—; y 5) comprobación manual y selección caso por caso cuando todavía había dos o más fuentes disponibles. Como resultado, muchas direcciones de los inventores fueron geocodificadas con precisión—es decir, a nivel de calle o de manzana—pero otras se geocodificaron solo a nivel de código postal u otro nivel de distrito. Las familias de patentes que contienen más oficinas tienen más probabilidades de estar geocodificadas y de ser de mayor calidad. Esa es otra de las razones por las que el informe se basa únicamente en las familias de patentes internacionales. Para más información, consulte Miguelez *et al.* (2019).

### Medición de la aglomeración de la innovación

Con el fin de manejar el problema de la unidad de zona modificable y sus distorsiones estadísticas resultantes, en el presente informe se crearon a propósito dos conjuntos de zonas comparables para utilizarlas en lugar de las zonas administrativas (véase Ester *et al.*, 1996). Un primer conjunto —denominado núcleos de innovación de escala mundial— recoge las zonas geográficas con mayor densidad innovadora del mundo en lo que atañe a los artículos científicos o las familias de patentes por kilómetro cuadrado (km<sup>2</sup>). Por definición, esas zonas son comparables a nivel internacional y distintas desde el punto de vista geográfico. La misma publicación científica o densidad de patentes determina el mismo núcleo de innovación en cualquier parte del mundo, aunque el umbral es diferente para los datos de las publicaciones científicas y los datos de patentes. Ninguna dirección de patente o de publicación científica puede corresponder a dos núcleos de innovación al mismo tiempo.

Un segundo conjunto, denominados conglomerados sectoriales especializados, se creó para evitar los sesgos derivados de la excesiva representación de algunos ámbitos científicos o tecnológicos en los

datos de las publicaciones científicas y de las patentes, respectivamente. Los conglomerados sectoriales especializados abarcan zonas con alta densidad de innovación en uno o más ámbitos de publicación científica o de patentamiento, y que por otros motivos no han cumplido con los criterios para constituir un núcleo de innovación de escala mundial. Los conglomerados resultantes son también zonas geográficas distintas, ya que los grupos superpuestos de diferentes ámbitos se consolidan en un solo grupo. No obstante, solo son comparables a nivel internacional dentro de su ámbito (o ámbitos) científico o tecnológico específico.

Como resultado, en el informe se definen 174 núcleos de innovación de escala mundial y 313 conglomerados sectoriales especializados en todo el mundo. El método detallado para definirlos se describe a continuación:

En primer lugar, los puntos dentro de los núcleos de innovación de escala mundial se definen mediante el algoritmo de *agrupamiento espacial basado en densidad de aplicaciones con ruido* (DBSCAN) que se aplicó por separado a los datos geocodificados de las patentes y de las publicaciones científicas. El método DBSCAN requiere dos parámetros —radio y puntos mínimos— para establecer la densidad mínima aceptable para formar una zona candidata. Esos dos parámetros se establecieron de manera diferente para las patentes y las publicaciones científicas. El radio para los datos de las publicaciones científicas se fijó en 23 km, que es la distancia media de desplazamiento al trabajo en los países de la OCDE. Dada la geocodificación más precisa de los datos de las patentes, y de acuerdo con la inspección visual, el radio se fijó en un valor menor, 13 km. El parámetro de puntos mínimos se fijó en la mediana de la densidad de las patentes y las publicaciones científicas de todas las circunferencias posibles, dado el radio de cada conjunto de datos. Como resultado, la densidad mínima de patentes de los núcleos de innovación de escala mundial se fijó en 1.453 patentes por cada 10 km<sup>2</sup>, y la densidad mínima de publicaciones científicas es de 3.328 publicaciones científicas por cada 10 km<sup>2</sup>.

En segundo lugar, los grupos de puntos resultantes de la aplicación del DBSCAN se utilizan para determinar las zonas geográficas candidatas —es decir, los límites— de los núcleos de innovación de escala mundial. Los límites de cada aglomeración de publicaciones científicas y de patentes se determinan utilizando el enfoque de polígono cóncavo de los *k* vecinos más próximos de cada grupo de puntos de patentes y

publicaciones científicas (véase Moreira y Santos, 2007). Para evitar formas poligonales anormales, el algoritmo cóncavo se estableció para que al menos el 75% de la zona convexa estuviera cubierta por todos los puntos exteriores de un grupo dado. En los pocos casos en que el grupo tenía menos de tres coordenadas, el polígono se fijó en una circunferencia de 13 km de radio. Los polígonos superpuestos se fusionan, y mantienen solo los bordes exteriores de todas las aglomeraciones afectadas. Sin embargo, si la superposición era inferior al 5% de cualquiera de los polígonos, estos se inspeccionaban y se corregían manualmente. Todas las patentes y los artículos científicos dentro de los polígonos resultantes se han considerado en el análisis, independientemente de si formaban parte o no de los resultados del DBSCAN.

En tercer lugar, el método anterior se repite para 25 submuestras de los mismos datos de publicaciones y de patentes, que atañen a 12 ámbitos científicos y 13 ámbitos tecnológicos, respectivamente. Los parámetros del radio se fijan de nuevo en 13 km para las patentes y en 25 km para las publicaciones científicas. Los puntos mínimos se fijan en la mediana de la densidad de las patentes de cada uno de los 13 ámbitos tecnológicos y la mediana de la densidad de las publicaciones científicas de cada uno de los 12 ámbitos científicos de todas las circunferencias posibles dado el radio de cada conjunto de datos. De los grupos resultantes de cada una de esas 25 iteraciones, solo se mantienen los puntos no contenidos en un núcleo de innovación de escala mundial para calcular las áreas de los polígonos cóncavos. De los polígonos resultantes, los que están superpuestos se fusionan de la misma manera que se mencionó anteriormente.

### **Estrategias de cartografía**

La estrategia de cartografía de las patentes de cada uno de los dos sectores —vehículos autónomos en el capítulo 3 y biotecnología vegetal en el capítulo 4— se basa en estudios previos y en las sugerencias de los expertos. Siempre que fue posible, las estrategias se basaron en las publicaciones científicas equivalentes y en los ejercicios de cartografía de patentes, que se utilizaron como referencia para la comparación de la estrategia. Para consultar información más detallada, véase Graff y Hamdan-Livramento (2019) y Zehtabchi (2019).

### **Vehículos autónomos**

La cartografía de los vehículos autónomos se basa en una combinación de las patentes de los datos de PATSTAT y de artículos científicos en los datos del SCIE

de la WOS incluidos en la muestra, de acuerdo con las clasificaciones de patentes, los temas científicos y las palabras clave que se detallan a continuación.

Los siguientes símbolos de la CIP y la CPC se utilizan para determinar las patentes relacionadas con los vehículos autónomos y se basan en anteriores informes sobre la actividad de patentamiento de la UKIPO, la OEP y la JPO. Algunos de los símbolos de la CPC y de la CIP se utilizaron en combinación con algunas palabras clave únicamente.

Símbolos independientes: G05D 1/0088; G05D2201/0207; G05D2201/0212; G08G 1/22; B60L2260/40%; B60L2230%; B60K31/0008; B60K31/0008; B60K2031/0091; B60K31/0058; B60K31/0066; B60W2550/40; B60W2600%; G01S15/88; G06K9/00791; G06T2207/30252; G08G1/096791; G08G1/16; G08G1/22; H04L67/12; Y02P90/285.

Símbolos en combinación con palabras clave: B60L%; B60W%; B60W2030%; B60W2040%; B60W2050%; B60W30%; B60W40%; B60W50%; B60Y%; B60Y2200/11; B62D%; G01S13/93; G01S13/931; G01S15/93; G01S15/931%; G01S17/88; G01S17/93; G01S17/936; G01S7/022; G01S7/4806; G05D1/02; G05D1/021%; G08G1/16%; Y02T10/%; Y02T90/%.

Palabras clave: (ground | car | cars | lorri | lorry | road | street | highway | convoy | platoon | fleet), (autonomous | unmanned | driver[.]{0,}less | agv), and NOT (air | aer | drone | flight | flies | fly).

En el caso de los datos de las publicaciones científicas, se aplicó un proceso iterativo. En primer lugar, se realizó una estrategia basada en palabras clave en relación con los resúmenes de los datos del SCIE de la WOS combinando las dos listas de términos siguientes: 1) automated, autonomous, self-driving, driverless, unmanned, robotic, pilotless y unpiloted; y 2) vehicle, car, truck, taxi, shuttle, lorry, driving, transport(ation) y automobile.

En segundo lugar, las marcas declaradas por los autores de los artículos científicos resultantes fueron inspeccionadas manualmente para crear una nueva lista con los siguientes 40 términos: adaptive cruise control; advanced driver assistance system; automated driving system; automated lane change maneuver; automatic vehicle control; automatic vehicle following; automotive radar; automotive sensors; autonomous mobile robots; autonomous navigation; autonomous valet parking;

autonomous vehicular networks; autonomous-vehicle lane; collision avoidance; crash avoidance; DARPA; DARPA urban challenge; Defense Advanced Research Projects Agency (DARPA) urban challenge; drivable-region detection; intelligent cruise control vehicles; intelligent unmanned autonomous system; LADAR; laser imaging detection and ranging; LIDAR; LIDAR object detection; light detection and ranging (LIDAR); look-ahead sensing; moving vehicle detection; obstacle avoidance; obstacle detection; pedestrian detection; pedestrian-crossing detection; platoon; predictive cruise control; unmanned ground vehicle; unmanned surface vehicles; vehicle automation; vehicle detection; vision-based guidance; wheeled robotic vehicle.

En tercer lugar, los 40 términos se utilizaron en los resúmenes y los títulos de los artículos para extraer un nuevo conjunto. Para evitar falsos positivos, se excluyeron los artículos publicados en revistas etiquetadas en los siguientes temas del WOS: Anatomy/Morphology; Art; Astronomy/Astrophysics; Audiology/Speech-Language Pathology; Behavioral Sciences; Biochemistry/Molecular Biology; Biodiversity/Conservation; Biophysics; Biotechnology/Applied Microbiology; Cardiovascular System/Cardiology; Cell Biology; Chemistry; Crystallography; Developmental Biology; Education/Educational Research; Emergency Medicine; Endocrinology/Metabolism; Entomology; Environmental Sciences/Ecology; Evolutionary Biology; Fisheries; Food Science/Technology; Forestry; Gastroenterology/Hepatology; General/Internal Medicine; Geochemistry/Geophysics; Geography; Geology; Geriatrics/Gerontology; Health Care Sciences/Services; Immunology; Infectious Diseases; Information Science/Library Science; Life Sciences/Biomedicine – other topics; Linguistics; Marine/Freshwater Biology; Medical Informatics; Medical Laboratory Technology; Meteorology/Atmospheric Sciences; Microbiology; Mineralogy; Mining/Mineral Processing; Neurosciences/Neurology; Nuclear Science/Technology; Nursing; Nutrition/Dietetics; Obstetrics/Gynecology; Oceanography; Ophthalmology; Orthopedics; Otorhinolaryngology; Pathology; Pediatrics; Pharmacology/Pharmacy; Physiology; Plant Sciences; Psychiatry; Psychology; Public Environmental/Occupational Health; Radiology Nuclear Medicine/Medical Imaging; Rehabilitation; Research/Experimental Medicine; Respiratory System; Rheumatology; Social Sciences – other topics; Sport Sciences; Surgery; Toxicology; Transplantation; Tropical Medicine; Urology/Nephrology; Veterinary Sciences; Water Resources; Zoology.

### Biotechnología agrícola

La cartografía de la biotechnología agrícola se basa en una combinación de las patentes de los datos de PATSTAT y de artículos científicos en los datos del SCIE de la WOS incluidos en la muestra, de acuerdo con las clasificaciones de patentes, las revistas científicas y las palabras clave que se detallan a continuación.

Los siguientes símbolos de la CIP y la CPC se utilizaron para determinar las patentes de cada categoría de biotechnología agrícola y la suma de estas constituye el total de las patentes de biotechnología agrícola:

Mejora genética de los cultivos: A01H1%; A01H3%; A01H4%; A01H5%; A01H6%; A01H7%; A01H17%; C12N5/04%; C12N5/14%; C12N15/05%; C12N15/29%; C12N15/79%; C12N15/82%; C12N15/83%; C12N15/84%; (C07K14/415% pero no A61K%).

Control de plagas en los cultivos: A01N63%; A01N65%; C12N15/31%; C12N/32%; (C07K14/325% pero no A61K%).

Fertilidad del suelo: C05F%.

Cambio climático: Y02A40/146; Y02A40/162; Y0240/164.

Las publicaciones científicas se extrajeron de las principales revistas científicas de biotechnología vegetal y de la conjunción de las principales revistas científicas de biotechnología agrícola y de las palabras clave, a saber:

(1) Todos los artículos de estas principales revistas de biotechnología vegetal: *Agri Gene*; *Crop Science*; *Euphytica*; *Genetics, Selection, and Evolution*; *Journal of Experimental Botany*; *Journal of Plant Physiology*; *New Phytologist*; *Physiologia Plantarum*; *Plant and Cell Physiology*; *Plant Cell*; *Plant Cell and Environment*; *Plant Cell Reports*; *Plant Journal*; *Plant Molecular Biology*; *Plant Physiology*; *Plant Physiology and Biochemistry*; *Plant Science*; *Planta*.

(2) Principales revistas científicas de biotechnología agrícola y palabras clave:

Principales revistas científicas de biotechnología agrícola: *Biochemical and Biophysical Research Communications*; *Cell*; *Journal of Biological Chemistry*; *Journal of Biology*; *Journal of Cell Biology*; *Journal of Molecular Biology*; *Journal of the American Medical Association*; *Molecular and Cellular Biology*; *Nature*; *Nature Biotechnology*; *New England Journal*

*of Medicine*; *PlosBio*; *Proceedings of the National Academy of Sciences of the USA*; *Science*; *The EMBO Journal*; *Theoretical and Applied Genetics*.

Palabras clave: abscisic acid; ACC oxidase; ACC synthase; aerenchyma; agrobacterium rhizogenes; agrobacterium tumefaciens; agrobacterium; alfalfa; ammonium; anther culture; anthocyanins; apoplast; arabidopsis; arbuscular mycorrhiza\*; auxin; bacterial blight; banana; barley; beta vulgaris; rachypodium distachyon; brassica; bread wheat; breeding; breeding value; C-4 photosynthesis; canola; capsicum annuum; carrot; cassava; chickpea; chinese cabbage; chlorophyll a fluorescence; chloroplast DNA; citrus; coffea arabica; cold tolerance; common bean; conifer\*; cotton; cross-breeding; cucumis melo; cucumis sativus; cytokinins; cytoplasmic male sterility; daucus carota; defoliation; distillers grains; doubled; downy mildew; drought resistance; ectomycorrhizal; eucalyptus; flaxseed; forage; fructan; fruit development; fruit quality; fruit ripening; fusarium; fusarium graminearum; fusarium head blight; garlic; genome; genotype x environment interaction; genotype; germplasm; gibberellins; glycine max; gossypium hirsutum; grain; grain filling; grain yield; grapevine; hairy root; haploid; hevea brasiliensis; high; hordeum vulgare; hypersensitive response; kiwifruit; leaf anatomy; leaf growth; leaf rust; legume; linseed; lolium perenne; lycopersicon esculentum; maize; male sterility; marker; medicago truncatula; methyl jasmonate; micropropagation; mycorrhiza\*; nicotiana tabacum; nitrogen fixation; orchid; oryza; oryza sativa; osmotic adjustment; osmotic potential; pea; peach; pectin; pepper; perennial ryegrass; phaseolus vulgaris; phenotyping; phloem transport; physcomitrella patens; phytic acid; phytotoxicity; picea abies; pinus; pinus pinaster; pinus taeda; pisum; plant breeding; plant defence; plant regeneration; plant transformation; pollen development; pollen germination; pollen tube; potato; prunus persica; QTL\*; QTL analysis; QTL mapping; QTLs; quantitative trait loc\*; rapeseed; resveratrol; RFLP; rice; root elongation; root exudates; rubisco activase; rye; sap flow; seed; self-incompatibility; shoot regeneration; solanum lycopersicum; solanum tuberosum; somaclonal variation; somatic embryogenesis; sorghum; soybean; spinacia oleracea; stomatal conductance; strawberry; sucrose synthase; sugar beet; sugarcane; sunflower; suppression subtractive hybridization; tall fescue; thlaspi caerulescens; tomato; transgenic plant\*; transgenic rice; transgenic tobacco; tritic\*; triticum aestivum; vicia faba; vitis vinifera; water potential; water use efficiency; wheat; winter wheat; xylem sap; zea may\*.

## Referencias

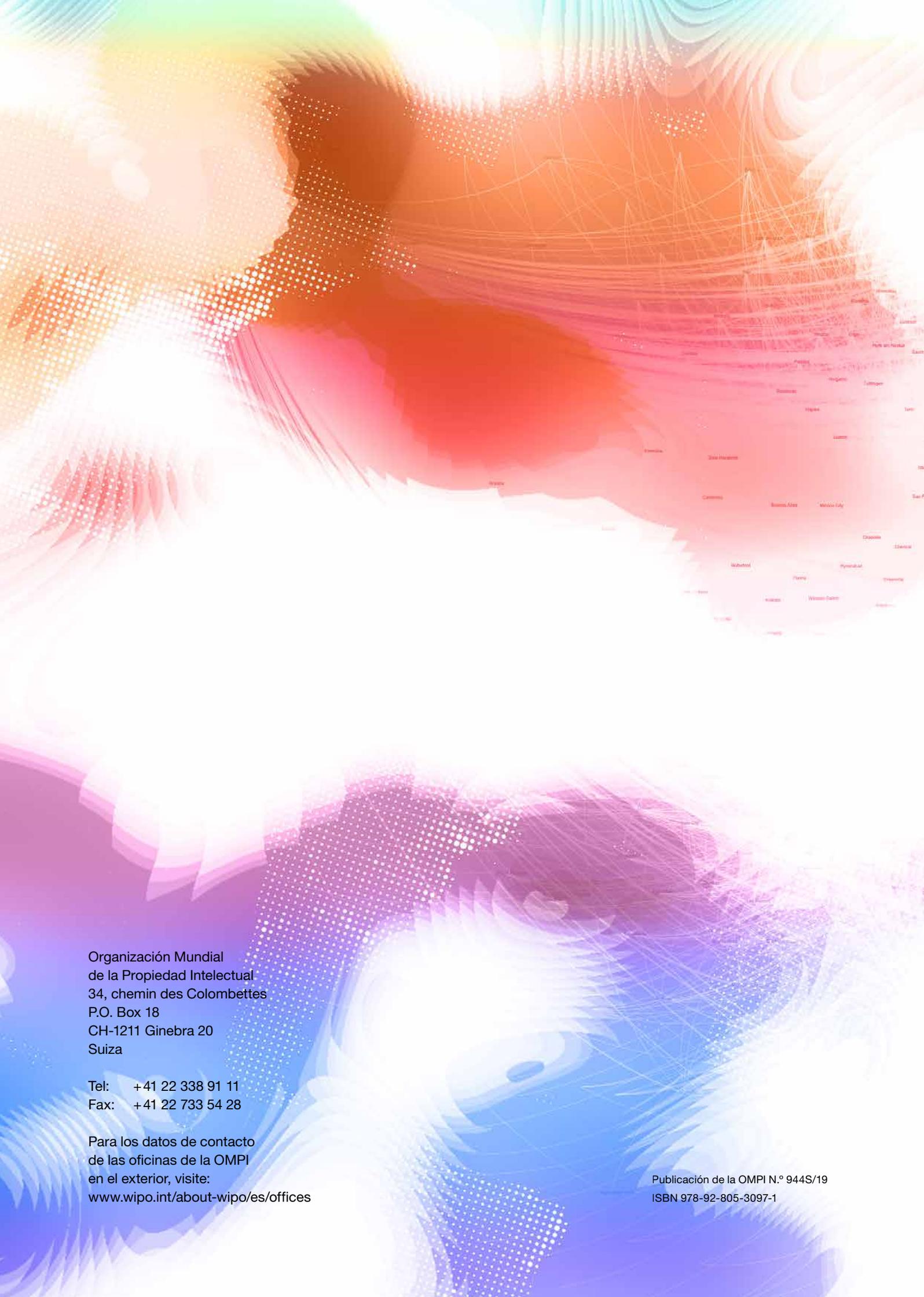
- de Rassenfosse, G., J. Kozak and F. Seliger (2019). Geocoding of worldwide patent data. [papers.ssrn.com/sol3/papers.cfm?abstract\\_id=3425764](https://papers.ssrn.com/sol3/papers.cfm?abstract_id=3425764)
- Ester, M., H.-P. Kriegel, J. Sander and X. Xu (1996). A density-based algorithm for discovering clusters in large spatial databases with noise. *Proceedings of the 2<sup>nd</sup> International Conference on Knowledge Discovery and Data Mining (KDD-96)*, Portland, Oregon, August 2–4, Menlo Park, CA: AAAI Press, 226–231.
- Graff, G. and I. Hamdan-Livramento (2019). The Global Innovation Network of Plant Biotechnology. *WIPO Economic Research Working Paper No. 59*. Geneva: WIPO.
- Ikeuchi, K., K. Motohashi, R. Tamura and N. Tsukada (2017). Measuring Science Intensity of Industry using Linked Dataset of Science, Technology and Industry. *RIETI Discussion Paper Series*, 17-E-056. [www.rieti.go.jp/en/publications/summary/17030073.html](http://www.rieti.go.jp/en/publications/summary/17030073.html)
- Li, G.-C., R. Lai, A. D'Amour, D.M. Doolin, Y. Sun, V.I. Torvik, A.Z. Yu and L. Fleming (2014). Disambiguation and co-authorship networks of the U.S. patent inventor database (1975–2010). *Research Policy*, 43, 941–955.
- Migueluez, E., J. Raffo, C. Chacua, M. Coda-Zabetta, D. Yin, F. Lissoni and G. Tarasconi (2019). Tied In: The Global Network of Local Innovation. *WIPO Working Paper No. 58*, November. Geneva: WIPO.
- Moreira, A. and M.Y. Santos (2007). Concave hull: A k-nearest neighbours approach for the computation of the region occupied by a set of points. In *Proceedings of the Second International Conference on Computer Graphics Theory and Applications (GRAPP 2007)*, Barcelona, March 8–11. INSTICC Press. ISBN 978-972-8865-71-9, pp. 61–68.
- Morrison, G., M. Riccaboni and F. Pammolli (2017). Disambiguation of patent inventors and assignees using high-resolution geolocation data. *Scientific Data*, 4. doi: [org/10.1038/sdata.2017.64](https://doi.org/10.1038/sdata.2017.64)
- Yin, D. and K. Motohashi (2018). Inventor Name Disambiguation with Gradient Boosting Decision Tree and Inventor Mobility in China (1985–2016), *RIETI Discussion Paper Series*, 18-E-018.
- Zehtabchi, M. (2019). Measuring Innovation in the Autonomous Vehicle Technology. *WIPO Economic Research Working Paper No. 60*. Geneva: WIPO.

## Acrónimos

ADAS	sistemas avanzados de asistencia al conductor	GIH	núcleo de innovación de escala mundial
ADN	ácido desoxirribonucleico	GM	General Motors
ADNr	ADN recombinante	I+D	investigación y desarrollo
ADS	sistemas de conducción automatizada	IA	inteligencia artificial
AHS	sistemas de autopistas automatizadas	IRRI	Instituto Internacional de Investigación del Arroz
BIO	Biotechnology Innovation Organization	MaaS	movilidad como servicio
<i>Bt</i>	<i>Bacillus thuringiensis</i>	MIT	Instituto de Tecnología de Massachusetts
CAAS	Academia de Ciencias Agrícolas de China	NOAA	Organismo Nacional para el Estudio de los Océanos y la Atmósfera
CDB	Convenio sobre la Diversidad Biológica	OCDE	Organización de Cooperación y Desarrollo Económicos
CE	Comisión Europea	OEM	fabricante de equipo original
CERN	Organización Europea de Investigación Nuclear	OMC	Organización Mundial del Comercio
CGIAR	Grupo Consultivo sobre Investigaciones Agrícolas Internacionales	OMG	organismos modificados genéticamente
CIIA	centros internacionales de investigación agrícola	OMPI	Organización Mundial de la Propiedad Intelectual
CIMMYT	Centro Internacional de Mejoramiento de Maíz y Trigo	ONU	Organización de las Naciones Unidas
CIP	Clasificación Internacional de Patentes	PCT	Tratado de Cooperación en materia de Patentes
CMU	Universidad Carnegie Mellon	PI	propiedad intelectual
CPC	Clasificación de Patentes Cooperativa	PIB	producto interno bruto
CRISPR-Cas9	repeticiones palindrómicas cortas agrupadas a intervalos regulares - proteína 9 asociada a CRISPR	SNC	conglomerado sectorial especializado
CSAIL	Laboratorio de Ciencias de la Computación e Inteligencia Artificial del MIT	SNIA	sistemas nacionales de investigación agrícola
C-V2X	comunicación de vehículo con todo mediante red celular	TI	tecnologías de la información
DARPA	Agencia de Proyectos de Investigación Avanzada para la Defensa	TIC	tecnologías de la información y la comunicación
EMBRAPA	Empresa Brasileña de Investigación Agropecuaria	TJUE	Tribunal de Justicia de la Unión Europea
EPA	Agencia de Protección del Medio Ambiente	TRI	Instituto de Investigación de Toyota
FAO	Organización de las Naciones Unidas para la Alimentación y la Agricultura	U.K.	Reino Unido
FCA	Fiat Chrysler Automobiles	U.S.	Estados Unidos de América
FDA	Administración de Alimentos y Medicamentos	UE	Unión Europea
		UPOV	Unión para la Protección de las Obtenciones Vegetales
		USDA	Departamento de Agricultura de los EE.UU.
		USPTO	Oficina de Patentes y Marcas de los Estados Unidos
		V2I	vehículo a infraestructura
		V2V	vehículo a vehículo
		VA	vehículo autónomo
		VW	Volkswagen
		WatCAR	Centro de Investigación sobre Automoción de Waterloo







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](http://www.wipo.int/about-wipo/es/offices)

Publicación de la OMPI N.º 944S/19  
ISBN 978-92-805-3097-1