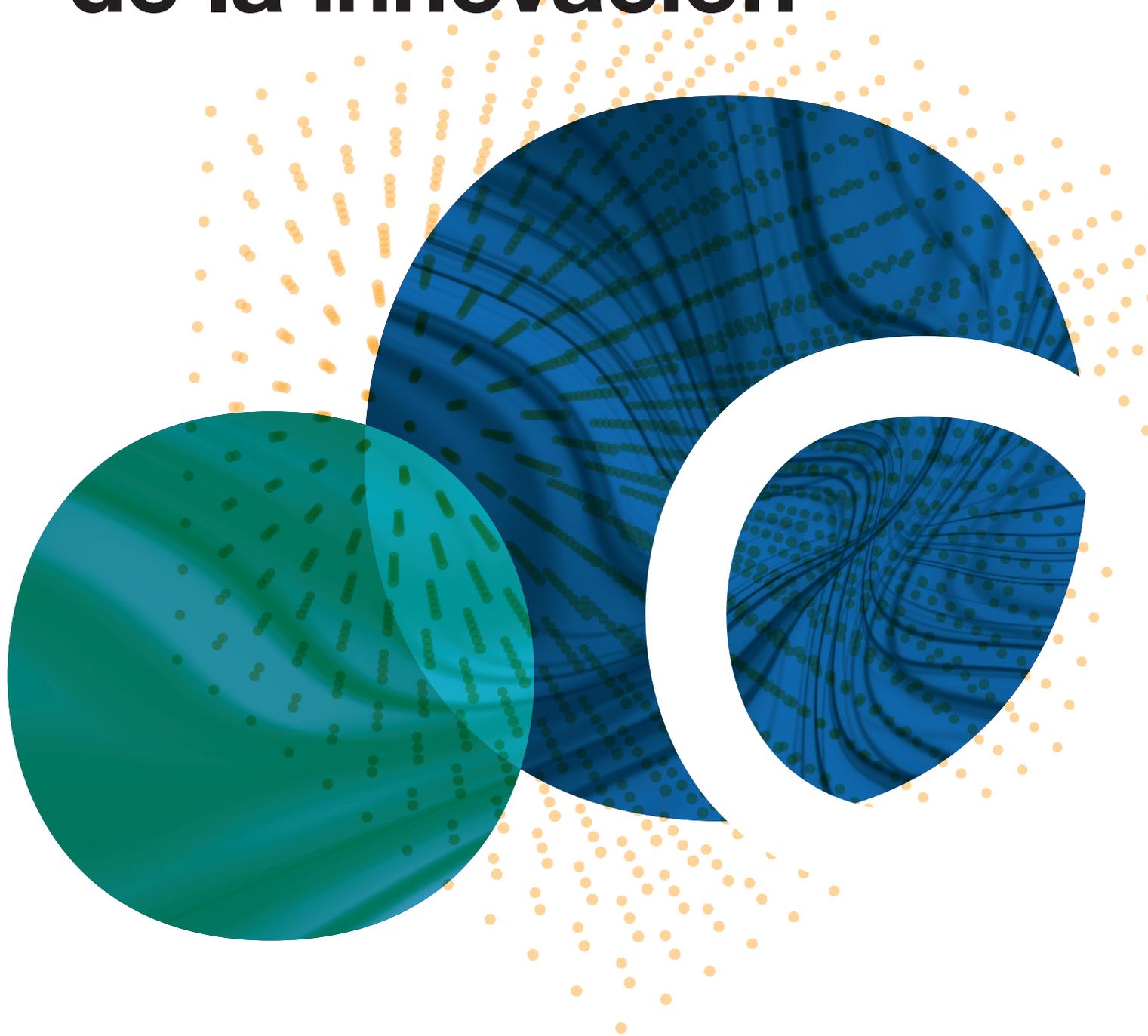


**Informe mundial sobre la
propiedad intelectual 2022**

La dirección de la innovación



OMPI

**Informe mundial sobre la
propiedad intelectual 2022**

La dirección de la innovación

Esta obra está sujeta a una licencia de Creative Commons del tipo Atribución 4.0 Internacional.

Todo usuario puede reproducir, distribuir, adaptar, traducir e interpretar o ejecutar públicamente 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.

Cita propuesta: Informe mundial sobre la propiedad intelectual 2022: La dirección de la innovación. Ginebra: OMPI.

Las adaptaciones/traducciones/obras derivadas 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/4.0>

Toda controversia que se derive de la presente licencia y que no pueda solucionarse amistosamente se someterá al Reglamento de Arbitraje de la Comisión de las Naciones Unidas para el Derecho Mercantil Internacional (CNUDMI) que se halle en vigor. Las partes quedarán obligadas por todo laudo arbitral emitido como consecuencia de dicho arbitraje, en tanto que decisión definitiva de dicha controversia.

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, 2022

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

DOI: 10.34667/tind.45358
ISBN: 978-92-805-3387-3 (impresa)
ISBN: 978-92-805-3388-0 (en línea)
ISSN: 2790-9883 (impresa)
ISSN: 2790-9891 (en línea)



Atribución 4.0 Internacional
(CC BY 4.0)

Portada: Getty Images / © AF-Studio y
Getty Images / © Lan Zhang

Índice

Lista de cuadros y gráficos	4	Los ecosistemas de innovación determinan la dirección de la innovación	15
Prólogo	5	Introducción	
Agradecimientos	7	¿En qué dirección va la innovación?	16
Resumen	8	Tecnologías que impulsan el crecimiento de la innovación	19
Notas técnicas	102	Capítulo 1	
Siglas	108	Establecer el rumbo de la innovación	20
		1.1 Rendimientos sociales y del sector privado	20
		1.2 Interacciones en los ecosistemas de innovación	22
		1.3 Factores económicos	25
		1.4 ¿Cómo pueden las políticas determinar la dirección de la innovación?	30
		1.5 Las economías en desarrollo y la dirección de la innovación	34
		1.6 La dirección de la innovación en el futuro	36
		Las nuevas tecnologías pueden impulsar el desarrollo	45
		Capítulo 2	
		Lecciones históricas sobre la dirección de la innovación	46
		2.1 La Segunda Guerra Mundial	46
		2.2 La industria espacial	52
		2.3 El auge de las tecnologías de la información en los países de Asia Oriental	58
		2.4 Resumen y conclusiones del capítulo	62
		Tecnologías digitales de rápido crecimiento Actividad de concesión de patentes (2015-2020)	67
		Capítulo 3	
		La dirección de la innovación: desafíos futuros	68
		3.1 Las lecciones extraídas de la crisis de la COVID-19	69
		3.2 Responder a la urgencia del cambio climático	73
		3.3 La digitalización transforma el mundo	82
		3.4 Las políticas públicas pueden fomentar la innovación para hacer frente a los desafíos	88
		3.5 Conclusiones y recomendaciones sobre políticas	90

Lista de cuadros y gráficos

Gráfico 1. Sectores de la tecnología con un mayor crecimiento de las solicitudes de patente (1895-2020)	9	Gráfico 2.1. Eficiencia de la energía solar, en porcentaje (1960-2020)	55
Gráfico 2. Crecimiento de las tecnologías en porcentaje del crecimiento promedio de todas las patentes (2016-2020)	9	Gráfico 2.2. Gasto de la NASA e inversión privada en el espacio (2010-2019)	55
Gráfico 3. Financiación espacial aportada por la NASA e inversores privados estadounidenses (2010-2019)	11	Gráfico 2.3. Porcentaje de patentes electrónicas concedidas en determinados países de Asia Oriental respecto del total mundial (1970-2018)	61
Gráfico 4. Resumen conceptual de las interacciones entre las partes interesadas del ecosistema de innovación	11	Gráfico 3.1a. Proporción de los tipos de financiación de las vacunas contra la COVID-19	69
Gráfico 5. Estimación de los beneficios sociales y privados de la elaboración de las vacunas contra la COVID-19	12	Gráfico 3.1b. Financiación de las vacunas contra la COVID-19 por tipo y región, en miles de millones de dólares de los Estados Unidos de América (USD)	69
Gráfico 6. Porcentaje de patentes de TIC concedidas en las economías de Asia Oriental, respecto del total mundial de patentes de TIC (1950-2020)	12	Gráfico 3.2. Proporción de la inversión pública de I+D en energía, expresada mediante el porcentaje dedicado a cada tecnología (1974-2019)	74
Gráfico 7. Crecimiento de las tecnologías relacionadas con el medio ambiente en todo el mundo (1973-2017)	13	Gráfico 3.3a. Número total de patentes de tecnologías limpias, clasificadas por categorías	76
Gráfico 1.1. Estimación de los beneficios sociales y del sector privado, en dólares de los Estados Unidos de América (USD)	21	Gráfico 3.3b. Tecnologías energéticas de mitigación del cambio climático, clasificadas por subcategorías	77
Gráfico 1.2. Resumen conceptual de las interacciones entre las partes interesadas del ecosistema	23	Gráfico 3.4. Proporción de las principales fuentes de energía en relación con el consumo total de energía en los Estados Unidos de América	77
Gráfico 1.3. Proporción de publicaciones científicas por ámbito de la ciencia (1840-2019)	25	Gráfico 3.5a. Solicitudes de patente totales presentadas en la industria del automóvil, clasificadas por patentes ecológicas (vehículos eléctricos e híbridos), grises o contaminantes	79
Gráfico 1.4. Proporción de patentes por sector de la tecnología (1900-2020)	26	Gráfico 3.5b. Proporción de solicitudes de patente relativas a tecnologías ecológicas (eléctricas e híbridas), grises y contaminantes en relación con las solicitudes de patente totales de la industria del automóvil	79
Gráfico 1.5. Resumen conceptual de la evolución de un ecosistema de innovación en relación con una nueva tecnología	28	Gráfico 3.6a. Cuota de mercado mundial de vehículos eléctricos	80
Gráfico 1.6. Resumen conceptual de los ciclos de las tecnologías de uso general	30	Gráfico 3.6b. Gasto en la compra de vehículos eléctricos, clasificado en función del origen de los fondos	80
Cuadro 2.1. Las diez principales universidades que firmaron contratos con la OSRD, clasificadas en función del valor total (1641-1947)	50	Gráfico 3.7. Proporción de las tecnologías digitales de uso general, clasificadas por categoría (izquierda), en relación con todas las solicitudes de patente (derecha)	83
Cuadro 2.2. Principales universidades y hospitales contratados para realizar proyectos relativos a la penicilina y al paludismo (1941-1947)	51		

Prólogo

Durante más de un siglo, la actividad innovadora ha crecido considerablemente en todo el mundo. La innovación, impulsada por diversos avances tecnológicos que abarcan desde el motor de combustión interna hasta las tecnologías de la información y las comunicaciones, se ha convertido en uno de los instrumentos más eficaces de los que se dispone para mejorar el bienestar general de la sociedad y de las personas.

Fotografía: OMP/ © Berrod



Actualmente, la innovación está iniciando un capítulo nuevo y prometedor en todo el mundo. Tecnologías digitales como la inteligencia artificial, la ingeniería de datos, la computación en la nube y la Internet de las cosas están en auge. Estas tecnologías que surgen rápidamente tienen la posibilidad de transformar amplias áreas de la economía mundial, brindar nuevas oportunidades de crecimiento a las empresas, emergentes y convencionales, y empoderar a las personas y las comunidades de todas las regiones del mundo.

Las repercusiones positivas de las nuevas ideas, productos y servicios se conocen bien, pero el entorno más amplio de la adopción de decisiones relativas a la innovación es un tema mucho menos analizado.

Lo anterior es, en gran medida, un reflejo de la amplia variedad de factores implicados. Las decisiones relativas a la innovación a menudo son complejas y requieren la participación de una muestra representativa de las distintas partes interesadas e intereses. Por ejemplo, las nuevas oportunidades científicas y tecnológicas son infinitas, a diferencia de los recursos humanos y financieros. En el mismo sentido, antes de adoptar decisiones de inversión, deben evaluarse las nuevas tecnologías en comparación con las demás y con los modelos existentes. Además, existen variables que no pueden anticiparse, como las crisis, las emergencias y otros acontecimientos que pueden alterar repentinamente la demanda de innovación de una sociedad.

El tema de la edición de 2022 del Informe mundial sobre la propiedad intelectual es precisamente ese proceso. El objetivo es poner de manifiesto el modo en que las decisiones de los distintos actores de los ecosistemas de innovación, como los encargados de formular las políticas, los investigadores, las empresas, los emprendedores y los consumidores, determinan conjuntamente la trayectoria futura no solo de la innovación, sino también de las economías y las sociedades en todo el mundo.

El informe comienza con un examen de los principales factores que influyen en la dirección de la innovación, así como de la relación entre los rendimientos sociales y privados. Si bien las motivaciones públicas y privadas no siempre coinciden, en el informe se demuestra que pueden aprovecharse de manera eficaz en beneficio del bien común.

En consonancia con las ediciones anteriores del informe, este examen conceptual se complementa con varios estudios de casos históricos. Desde las perspectivas de la innovación médica durante la Segunda Guerra Mundial, de la evolución de la carrera espacial y del auge de las industrias de las tecnologías de la información en Asia Oriental, se detalla la variedad de factores y partes interesadas que influyen en la dirección de la innovación, y se presentan ideas de interés tanto para las economías muy industrializadas como para las emergentes.

El informe concluye con un examen de las maneras en las que la innovación puede ayudar a hacer frente a los desafíos mundiales presentes y futuros. Si bien la trayectoria de la innovación a largo plazo sigue siendo incierta, es sabido que las nuevas tecnologías y soluciones digitales pueden desempeñar un papel fundamental en la construcción de un mundo más respetuoso con el medio ambiente, más justo, más saludable y más resiliente. Ahora bien, ¿cómo se puede poner la innovación rumbo a unos resultados productivos que beneficien a las economías, a las comunidades y a nuestro planeta? ¿Qué instrumentos políticos pueden utilizarse para hacer coincidir los incentivos privados a la innovación y las necesidades de la sociedad? ¿Qué puede hacerse para brindar un mayor apoyo a los países en desarrollo y los menos adelantados para que aprovechen las oportunidades de innovación?

Mientras el mundo trata de recuperarse de la pandemia, la innovación puede desempeñar un papel fundamental al generar nuevas posibilidades de crecimiento y crear soluciones muy necesarias para hacer frente a los desafíos comunes que se presentan. Las decisiones relativas a la innovación pueden ser complejas, si bien es indispensable que se comprendan, como se subraya en el presente informe.



Daren Tang

director general de la Organización Mundial de la Propiedad Intelectual (OMPI)

Agradecimientos

La edición de 2022 del Informe mundial sobre la propiedad intelectual se elaboró bajo la dirección general de Daren Tang (director general) y Marco Alemán (subdirector general). Carsten Fink (economista jefe) supervisó la labor y un equipo dirigido por Julio Raffo (jefe de la Sección de Economía de la Innovación) preparó el informe. El equipo estuvo compuesto por Intan Hamdan-Livramento (economista), Maryam Zehtabchi (economista), Philipp Großkurth (colaborador), Federico Moscatelli (colaborador), Deyun Yin (colaboradora) y Prince Oguguo (joven especialista), del Departamento de Economía y Análisis de Datos (DEDA).

El Informe se basó en varios documentos de fondo encargados a tal efecto.

Capítulo 1: Las aportaciones de Carsten Fink versaron sobre las estimaciones sociales relativas a la vacuna contra la COVID-19 y las de Xiaolan Fu y Liu Shi (ambas de la Universidad de Oxford), sobre las perspectivas de los países en desarrollo.

Capítulo 2: Henry Hertzfeld, Benjamin Staats y George Leaua (los tres de la Universidad George Washington) contribuyeron con investigaciones de fondo relativas al espacio; Bhaven Sampat (Universidad de Columbia), sobre los antibióticos; y Keun Lee (Universidad Nacional de Seúl), sobre las tecnologías de la información en Asia Oriental.

Capítulo 3: Joëlle Noailly (Instituto Universitario de Altos Estudios Internacionales y Desarrollo, de Ginebra; Instituto Tinbergen de la Universidad Libre de Ámsterdam) aportó investigaciones de fondo sobre las tecnologías con bajas emisiones de carbono y Manuel Trajtenberg (Universidad de Tel Aviv), sobre las tecnologías digitales de uso general.

El equipo del informe contó con valiosas contribuciones en forma de revisiones externas y comentarios. Richard R. Nelson (Universidad de Columbia) formuló comentarios y observaciones sobre los capítulos del informe.

Además, Suma Athreye (Universidad de Essex), Dominique Foray (Escuela Politécnica Federal de Lausana), Lisa L. Ouellette (Facultad de Derecho de Stanford), Can Huang (Universidad de Zhejiang), Andrea Sommariva (Escuela de Administración de Empresas SDA Bocconi) y Valeria Costantini (Universidad Roma Tre) aportaron análisis de los documentos de fondo.

Varios especialistas contribuyeron a la preparación del informe con aportaciones y comentarios, en particular, Alica Daly (OMPI), Ernest Miguelez (Universidad de Burdeos), Giovanni Napolitano (OMPI) y Anja von der Ropp (OMPI).

Samiah Do Carmo Figueiredo, Jovana Stojanović y Judith Davila-Monzon proporcionaron un valioso apoyo administrativo.

El personal del Centro de Conocimiento de la OMPI brindó un apreciado apoyo de investigación durante toda la elaboración del informe.

Por último, agradecimientos a los colegas de la OMPI encargados de la edición y el diseño del informe.

Resumen

El presente informe se centra en lo que los economistas denominan la “dirección de la innovación”, que es la combinación o la suma de todas las decisiones que las personas, las empresas, las universidades y los gobiernos adoptan en cuanto a qué oportunidades tecnológicas se han de aprovechar.

No se trata únicamente de cuánto invierten las economías en ideas nuevas. La asignación de recursos humanos y financieros a las distintas actividades de innovación puede determinar la dirección de la innovación en las comunidades y los países, e incluso en el mundo, en los próximos decenios.

La dirección de la innovación a corto plazo y sus repercusiones son relativamente fáciles de anticipar y coordinar. Por ejemplo, para hacer frente a la pandemia de COVID-19, los gobiernos y las empresas reorientaron satisfactoriamente la inversión en innovación hacia el descubrimiento, la aprobación y la producción masiva de vacunas y lograron el objetivo en un tiempo récord. Las vacunas redujeron drásticamente el número de muertes y ayudaron a la economía mundial a recuperarse de la depresión provocada por la pandemia en 2020.

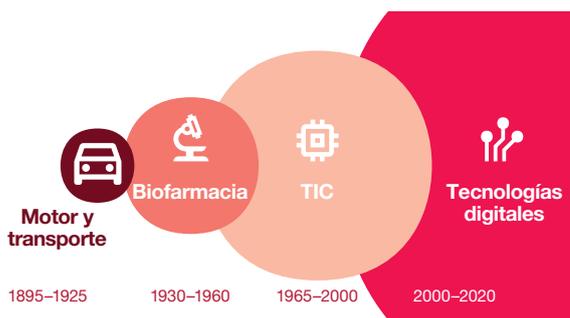
En cambio, los efectos a largo plazo de la dirección de la innovación –es decir, los rendimientos o ganancias para las empresas y los beneficios para la sociedad, o la ausencia de ellos– son menos predecibles. Por ejemplo, es difícil prever cuál de las innovaciones tecnológicas dirigidas a limitar los efectos del cambio climático será la más eficaz.

La innovación ha crecido exponencialmente en los últimos 100 años, impulsada por catalizadores tecnológicos muy diversos

En el último siglo, la acumulación de decisiones de innovación ha transformado las trayectorias tecnológicas. Las tecnologías relativas a los motores de combustión, el transporte y otras máquinas mecánicas dominaron el panorama de la innovación en los primeros decenios del siglo pasado. El auge de las tecnologías biofarmacéuticas se debe al progreso de los productos farmacéuticos en los años treinta y de las biotecnologías a partir de la década de los noventa. Asimismo, en los últimos decenios del siglo XX se produjo un gran cambio hacia las tecnologías de la información y las comunicaciones (TIC) y los semiconductores, que fueron objeto de una cuarta parte del total de patentes en los 30 años transcurridos entre 1990 y 2010. Este aumento de las patentes relacionadas con las TIC se produjo principalmente en detrimento de las tecnologías “tradicionales” relativas a las máquinas mecánicas.

Diversas tecnologías han impulsado el crecimiento de la innovación en los últimos 100 años

Gráfico 1. Sectores de la tecnología con un mayor crecimiento de las solicitudes de patente (1895-2020)



Actualmente, la dirección de la innovación se encuentra en un cruce de caminos en el que surgen con fuerza nuevas tecnologías prometedoras

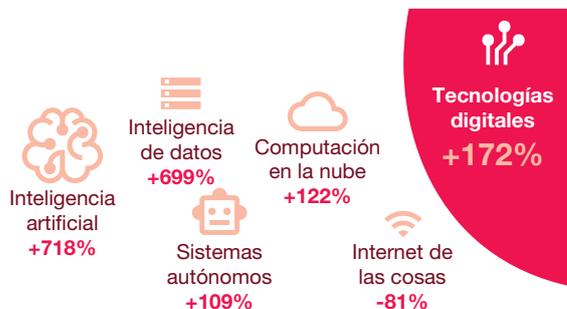
Al iniciarse la tercera década del siglo XXI, nuevos factores potentes orientan la dirección de la innovación en ámbitos como la ciencia, la tecnología y la medicina.

La digitalización está transformando el mundo. La oleada de tecnologías digitales de uso general comprende la inteligencia artificial (IA), las tecnologías predictivas, la automatización sumamente sofisticada y la inteligencia de datos. Las tecnologías de uso general están transformando las industrias porque atraen innovadores, estructuras, prácticas y valores nuevos. Esas tecnologías dan origen a nuevos sectores, como el de la Internet de las cosas.

La digitalización puede fomentar el crecimiento económico, pero conlleva el riesgo de que se acentúen las desigualdades. La IA, la automatización y otras tecnologías de uso general pueden impulsar el crecimiento económico al generar innovación que complemente y mejore la productividad humana. Sin embargo, existe el riesgo de que empeoren la desigualdad económica si la innovación se limita a sustituir a las personas. Determinadas profesiones quedarían obsoletas y surgirían otras que requerirían cualificaciones diferentes. Si bien podría brindar a algunas economías menos desarrolladas la oportunidad de dar un salto tecnológico, otras podrían quedarse atrás debido a la falta de grandes inversiones de capital y de la mano de obra altamente cualificada necesaria para que prosperen esas tecnologías.

La innovación digital ha crecido un 172% más deprisa que todos los demás tipos de patentes en los últimos cinco años

Gráfico 2. Crecimiento de las tecnologías en porcentaje del crecimiento promedio de todas las patentes (2016-2020)



El éxito de las vacunas contra la COVID-19 es un modelo de innovación que conviene tomar como

referencia. La pandemia de COVID-19 generó y, en parte, aceleró la demanda de nuevas tecnologías para hacerle frente. Esta crisis apremió a todos los actores del ecosistema de innovación –gobiernos, sector privado, instituciones de investigación y universidades, comunidades internacionales, organizaciones no gubernamentales (ONG) y fundaciones filantrópicas– a reaccionar para hallar soluciones urgentes.

La envergadura de la pandemia y el hecho de que afectara a una elevada proporción de la población mundial crearon un incentivo importante para el sector privado. Además, varios gobiernos proporcionaron al sector privado un apoyo financiero cuantioso destinado a posibilitar los ensayos clínicos y a aumentar la capacidad de producción a gran escala de los creadores de vacunas con propuestas prometedoras.

Además, las medidas especiales de autorización y coordinación de emergencia, adoptadas por importantes organismos públicos nacionales e internacionales, permitieron que las vacunas se distribuyeran con mayor rapidez en todo el mundo.

La fructífera colaboración entre los sectores público y privado para seleccionar y fabricar las vacunas contra la COVID-19 demuestra que las políticas pueden ser de utilidad para orientar la actividad innovadora hacia un objetivo común.

La elaboración de las vacunas contra la COVID-19 ha tenido repercusiones en la investigación y la práctica médicas. Los buenos resultados de las vacunas de ácido ribonucleico mensajero (ARNm) contra la COVID-19 han proporcionado pruebas convincentes de que la tecnología funciona bien y podría aplicarse a otras enfermedades. Esto también podría indicar el inicio de otra edad de oro para la elaboración de vacunas, similar a la que tuvo lugar durante la Segunda Guerra Mundial.

La crisis de la COVID-19 también ha transformado la práctica médica al acelerar la adopción de tecnologías digitales. Si bien muchos de los cambios ya estaban en curso, la pandemia puso de manifiesto la urgencia de adoptar un funcionamiento digital y brindó oportunidades para efectuar mejoras operacionales, como las consultas médicas virtuales.

Sin embargo, la rápida distribución de las vacunas contra la COVID-19 y la amplia adopción de las herramientas de biotecnología relacionadas plantearon desafíos a corto plazo. Crear y poner en circulación las vacunas que utilizaban la nueva tecnología requirió contar con mano de obra muy cualificada y laboratorios de investigación bien equipados. Además, la velocidad con la que se desarrolló la vacuna contra la COVID-19 y se efectuaron los ensayos médicos se logró a expensas de demorar la aprobación de otras vacunas en proceso de preparación. Asimismo, haber centrado la atención en las vacunas y los tratamientos

contra la COVID-19 puede perjudicar otras líneas de investigación médica durante varios años.

La demanda de innovación en una sociedad puede cambiar en un instante, especialmente en tiempos de crisis

En ocasiones, grandes cambios sistémicos inesperados— como nuevas tecnologías revolucionarias— alteran las preferencias y las prioridades de las partes interesadas en los ecosistemas. Por lo general, se hace un llamamiento a los gobiernos y los encargados de formular las políticas para que den respuesta a esos acontecimientos que modifican las prioridades.

Por ejemplo, como reacción directa a la Segunda Guerra Mundial, el Gobierno de los Estados Unidos de América movilizó a científicos civiles para satisfacer las necesidades surgidas de la guerra mediante la creación y la financiación de instituciones públicas de investigación, entre ellas, el Instituto Nacional de la Salud (NIH). Más de 70 años después, muchas de las innovaciones médicas originadas en ese período todavía forman parte de las prácticas hospitalarias habituales.

La Segunda Guerra Mundial creó demanda de nuevas soluciones tecnológicas a problemas como el tratamiento de los soldados heridos y la reducción de las tasas de mortalidad. Durante la guerra, el Gobierno estadounidense dedicó al presupuesto de investigación y desarrollo (I+D) una cuantiosa suma de dinero, casi 100 veces mayor que lo invertido en ciencia en los años precedentes. Este aumento coordinado de la actividad pública facilitó y apoyó la producción en serie de la penicilina, el desarrollo de sustitutos de la sangre y la creación y producción de vacunas, así como la investigación de las hormonas y muchos otros avances médicos. Ello abrió vías para otras investigaciones y mejoras médicas que tuvieron consecuencias importantes. Las labores de investigación relativas a la penicilina fueron las precursoras de la elaboración de antibióticos por parte de empresas farmacéuticas en los decenios posteriores a la guerra.

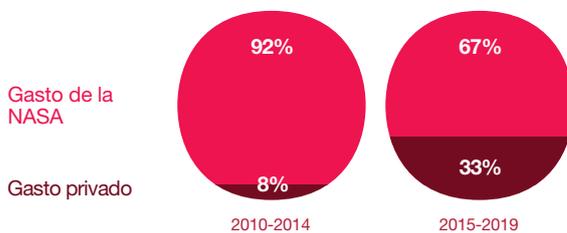
De manera similar, la Guerra Fría provocó que, en los Estados Unidos de América, la inversión federal en I+D se extendiera a otros campos, como la misión a la Luna. En 1957, la Unión Soviética se convirtió en el primer país que envió un satélite a la órbita terrestre baja. En 1961, los Estados Unidos de América respondieron con un programa para enviar a un humano a la Luna en un plazo de diez años. El objetivo se alcanzó en octubre de 1969 gracias a una gran voluntad política, un presupuesto generoso y una amplia capacidad técnica en materia científica y de ingeniería.

A finales del siglo XX, la financiación de I+D dirigida a misiones específicas de programas espaciales

favoreció el desarrollo de las tecnologías de satélites de telecomunicaciones y acabó fomentando la participación comercial en las actividades espaciales. Las economías industriales avanzadas dependen cada vez más de los sistemas espaciales para disponer de tecnologías de la información, imágenes de tele-detección, datos de posicionamiento, navegación y temporización (PNT) y otras aplicaciones. Otra carrera espacial entre los Estados Unidos de América y China puede favorecer la creación de tecnologías innovadoras e impredecibles en los próximos decenios.

La financiación pública de la innovación espacial propició la aparición de nuevas tecnologías y sectores

Gráfico 3. Financiación espacial aportada por la NASA e inversores privados estadounidenses (2010-2019)



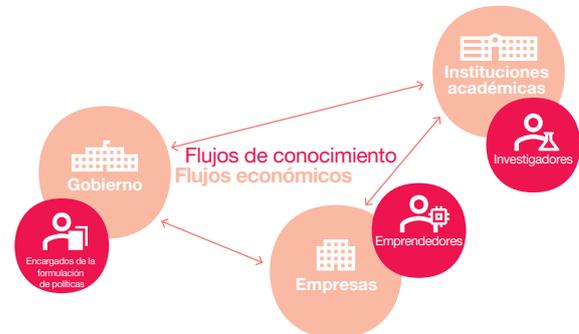
La dirección de la innovación no se decide de manera unilateral, sino que es el resultado de la interacción dinámica de múltiples decisiones adoptadas por emprendedores, investigadores, consumidores y encargados de la formulación de políticas

La dirección de la innovación cambia constantemente, influida por las elecciones e interacciones de las partes públicas y privadas interesadas en beneficiarse de la innovación. El ecosistema de innovación es el determinante de la dirección de la innovación. La curiosidad orienta a los investigadores en el estudio de otros ámbitos científicos y a los ingenieros en la experimentación con nuevas tecnologías. Tanto las empresas y los emprendedores como los gobiernos detectan las oportunidades de innovación a partir de las predicciones de los posibles rendimientos privados y sociales.

Las partes interesadas privadas están más dispuestas a aprovechar las oportunidades de innovación cuando los rendimientos esperados pueden preverse y son fáciles de expresar en términos monetarios. También se ven atraídos por los proyectos de innovación a corto plazo en los que el riesgo de fracasar es menor. En cambio, las oportunidades a más largo plazo y con un mayor riesgo a menudo son las que más probabilidades tienen de proporcionar rendimientos sociales positivos.

Los ecosistemas de innovación determinan cuál será la dirección de la innovación en los próximos decenios

Gráfico 4. Resumen conceptual de las interacciones entre las partes interesadas del ecosistema de innovación



Los gobiernos deben promover tanto los rendimientos de la innovación sociales como los privados. Con este fin, a menudo centralizan las actividades y los recursos en las innovaciones que afectan a los bienes públicos, es decir, a los productos y servicios que se ponen a disposición de todas las personas de forma gratuita, como la defensa nacional o la prevención de las pandemias. Los gobiernos también pueden constituir la principal fuente de demanda de las tecnologías innovadoras. Además, formulan políticas para influir en la oferta de bienes públicos relativos a la salud, la seguridad o la educación.

Los conocimientos adquiridos por las industrias mediante la experiencia práctica o las cadenas de suministro determinan en gran medida la dirección de la innovación. El flujo de conocimientos y de innovación entre los distintos ámbitos y sectores proporciona a los científicos, los ingenieros y los emprendedores fuertes incentivos para introducirse en otros ámbitos y sectores, en los que aplicarán las tecnologías con las que ya están familiarizados, provocarán la redistribución de los recursos y, finalmente, determinarán la dirección de la innovación.

Si bien las motivaciones públicas y privadas no siempre coinciden, pueden aprovecharse de manera eficaz en beneficio del bien común

Los rendimientos sociales y privados de las tecnologías orientan la innovación. Las innovaciones pueden tener efectos transformadores –positivos o negativos– en el medio ambiente, la salud pública, las comunidades locales o grupos demográficos concretos, por mencionar algunos ejemplos de rendimientos sociales de la innovación. Si una tecnología es respetuosa con el medio ambiente, generará beneficios socioeconómicos a la comunidad en general. En cambio, una nueva

tecnología más barata que sea más contaminante puede tener efectos socioeconómicos negativos.

Los rendimientos sociales de la innovación pueden diferir sustancialmente de los rendimientos privados obtenidos por los innovadores con motivaciones comerciales, como ha puesto de manifiesto la elaboración de las vacunas contra la COVID-19. Según la investigación realizada para preparar este informe, se estima que los beneficios sociales mundiales de la innovación relativa a las vacunas equivalen a 70,5 billones de dólares de los Estados Unidos de América (USD), lo que representa unos beneficios 887 veces mayores que los de carácter privado. Este elevado beneficio social refleja el valor de las vidas que se salvaron y del deterioro de salud que se evitó, así como la eliminación de las medidas de confinamiento, todo lo cual supera con creces los ingresos obtenidos por los fabricantes de las vacunas.

La innovación público-privada es fundamental para promover el bien común

Gráfico 5. Estimación de los beneficios sociales y privados de la elaboración de las vacunas contra la COVID-19



Las necesidades de innovación varían en las distintas partes del mundo

La capacidad de las economías en desarrollo de generar nuevas soluciones tecnológicas o absorber las existentes para satisfacer sus necesidades socioeconómicas específicas depende de los ecosistemas locales de innovación y del grado de conexión que tengan con las redes mundiales de innovación.

En ocasiones, por lo general en las economías de ingreso mediano, los ecosistemas de innovación pueden revelar aptitudes innovadoras sin precedentes si se aprovecha la capacidad científica, el capital tecnológico y la mano de obra cualificada para reducir la disparidad tecnológica entre esas economías y las más avanzadas.

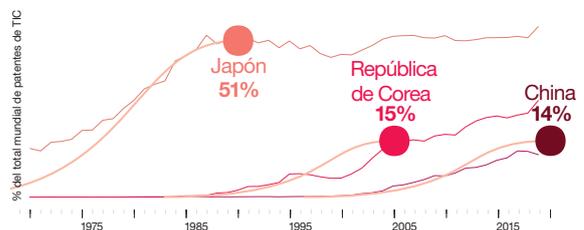
Por ejemplo, en el sector de las tecnologías de la información (TI), el Japón, la República de Corea y China lograron integrarse plenamente en la economía

mundial y convertirse en participantes centrales y activos en las cadenas de valor internacionales. Sus políticas industriales respectivas facilitaron el salto a las TI de vanguardia en solo unos decenios. En los años ochenta, estos países de Asia Oriental accedieron a los mercados de las computadoras personales, los videograbadores, los reproductores de casetes de audio y los equipos de telecomunicaciones. En los años noventa llegaron los chips de memoria y los teléfonos celulares inalámbricos, y en la primera década del siglo XXI aparecieron varios productos digitales, como las televisiones digitales, los sistemas de telecomunicaciones inalámbricos y los teléfonos inteligentes.

El desarrollo de todas las economías de Asia Oriental tiene elementos comunes, a saber, la convergencia económica, el rápido progreso tecnológico de las industrias y empresas privadas y las políticas públicas dirigidas a reducir los riesgos que deben soportar las empresas al introducirse en nuevos sectores.

Las nuevas oportunidades tecnológicas pueden impulsar el desarrollo económico

Gráfico 6. Porcentaje de patentes de TIC concedidas en las economías de Asia Oriental, respecto del total mundial de patentes de TIC (1970-2020)



En otros casos, es posible que las partes interesadas locales, participen o no en el mercado, carezcan de la capacidad innovadora suficiente para detectar, asimilar o aprender de las nuevas tecnologías elaboradas en otros lugares, o para generar innovaciones por sí mismas. Si el poder adquisitivo es bajo, puede resultarles difícil acceder a la innovación mundial para satisfacer sus necesidades. Es posible que la infraestructura básica (como las carreteras, la electricidad o la atención médica) o las instituciones importantes (como un sector financiero eficaz) sean deficientes o inexistentes, lo cual tiene como consecuencia que algunas tecnologías extranjeras sean menos apropiadas. De ser así, la innovación se caracterizará por la baja cualificación de la mano de obra, por producir generalmente a pequeña escala y por estar dirigida a comunidades o regiones específicas.

En todo caso, lo más importante son las necesidades de cada país, puesto que la innovación es diferente en las distintas partes del mundo. La innovación

importada del extranjero debe poder utilizarse en el país receptor. Solo es posible dar un salto tecnológico si se tiene en cuenta este aspecto. Cabe señalar, sobre todo, que no es necesario que la innovación sea de vanguardia para tener un valor social.

Las tecnologías que hacen frente a desafíos importantes como el cambio climático son muy necesarias

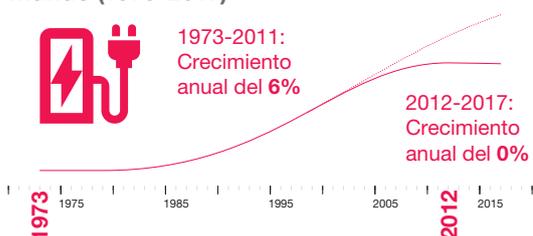
La dirección de la innovación en el futuro dependerá de las políticas internacionales y multilaterales dirigidas a dar respuesta a los “grandes desafíos”, a saber, el acceso a la educación y a la salud y la mitigación del cambio climático.

La colaboración fructífera entre los sectores público y privado para seleccionar las vacunas contra la COVID-19 demuestra que las políticas orientadas a una misión pueden ser de utilidad para generar cambios importantes. De manera similar a la actividad llevada a cabo en tiempos de guerra en la década de los cuarenta, esas colaboraciones, que se basaron en los conocimientos científicos y las tecnologías existentes, demostraron ser útiles e hicieron posible producir y distribuir las vacunas con rapidez y a gran escala.

Cabe preguntarse si las políticas “orientadas a una misión” específica pueden servir para dar respuesta a los principales desafíos sociales, medioambientales y económicos de gran complejidad a los que se enfrenta el mundo. Las políticas surgidas de la adopción centralizada de decisiones y basadas en la concentración de recursos en un objetivo concreto fueron muy eficaces en los contextos del programa espacial de la NASA para llegar a la Luna y de la elaboración de las vacunas contra la COVID-19. Sin embargo, es posible que ni siquiera las políticas orientadas a una misión sean suficientes. Hay quien considera que las políticas públicas son solo uno de los elementos de cualquier solución, que requerirá además la intervención de todas las partes interesadas del ecosistema de innovación, incluidos los consumidores.

Tras la crisis del precio del petróleo, las tecnologías limpias crecieron rápidamente, pero tal vez no lo bastante

Gráfico 7. Crecimiento de las tecnologías relacionadas con el medio ambiente en todo el mundo (1973-2017)



La intensificación del compromiso con la sostenibilidad en los ámbitos público y privado y por parte de los consumidores está cambiando la manera en la que las empresas llevan a cabo sus actividades. Por ejemplo, comienzan a utilizar energías renovables o adoptan tecnologías que mitigan el cambio climático para reducir su huella de carbono. Mediante subvenciones, reglamentos y normas para promover las tecnologías medioambientales, los gobiernos contribuyen a mitigar algunos de los riesgos e incertidumbres asociados con la inversión en las nuevas tecnologías de energía alternativa, que en cierta medida no se han puesto a prueba.

La innovación relativa a las tecnologías con bajas emisiones de carbono, especialmente en el sector de la energía, ha crecido en las dos primeras décadas del siglo XXI, acompañada de un aumento drástico del número de patentes relacionadas. Lo mismo puede decirse de las tecnologías instrumentales, como las baterías, el hidrógeno y las redes eléctricas inteligentes.

Sin embargo, las tecnologías que se encuentran en las primeras etapas de desarrollo (investigación básica o aplicada) tienden a ser más arriesgadas y, por lo tanto, necesitan financiación pública para mitigar esos riesgos. Por ejemplo, la elaboración y el mantenimiento de las tecnologías de remoción de dióxido de carbono conllevan muchos costos.

Además, la percepción de los riesgos asociados con el calentamiento global cambia constantemente. Los incentivos a la inversión privada en el desarrollo de tecnologías limpias dependen de la demanda prevista.

¿Pueden contribuir las políticas a determinar la dirección de la innovación?

Las políticas públicas pueden influir en la dirección de la innovación de varias maneras:

Las políticas dirigidas a estimular el descubrimiento científico y tecnológico son más necesarias cuanto mayores sean la incertidumbre y el riesgo relativos a la innovación. Por ejemplo, los gobiernos realizan habitualmente adquisiciones directas que propician el desarrollo de las tecnologías de defensa y aeroespaciales.

Las políticas de mitigación de riesgos tendrán más posibilidades de ser eficaces en las primeras etapas de desarrollo tras el descubrimiento inicial. Las subvenciones a actividades de I+D, los préstamos en condiciones favorables y los incentivos fiscales son instrumentos de política habituales para mitigar los riesgos.

Las políticas de adopción temprana de una tecnología innovadora no solo tienen como objetivo

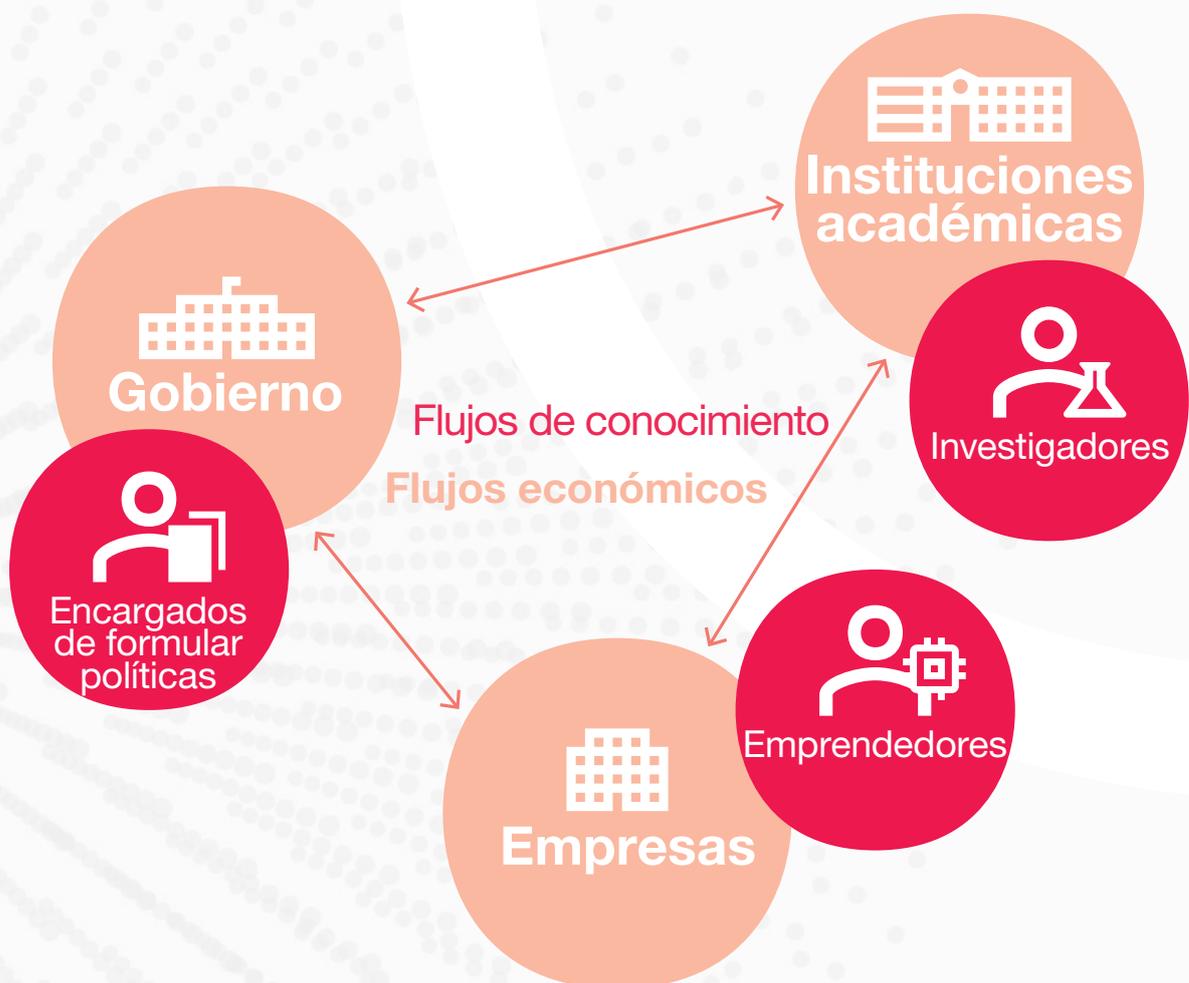
reducir los riesgos que conlleva la innovación, sino también aumentar el número de empresas que utilizan esa tecnología. Los gobiernos pueden intervenir para impulsar la producción de una tecnología determinada y, por este medio, garantizar que se alcance una escala suficiente para que la producción sea rentable.

Los gobiernos también pueden reducir los riesgos o incentivar indirectamente la adopción de tecnologías mediante el estímulo del consumo de los productos o servicios en los que vaya incorporada la innovación deseada. Pueden conceder subvenciones a los productores, para mantener los precios bajos, o a los consumidores, para alentarlos a comprar. Asimismo, pueden influir en la adopción de innovaciones mediante la financiación pública de programas educativos para reducir el costo y aumentar la oferta de la mano de obra cualificada y para promover el emprendimiento en los ámbitos seleccionados.

La regulación de las tecnologías digitales, en particular, las normas que rigen el acceso a los datos, desempeña un papel importante en el mantenimiento de un mercado competitivo que promueva y recompense la innovación. Mientras las tecnologías digitales evolucionan a buen ritmo, muchos gobiernos de todo el mundo se plantean la posibilidad de adaptar su legislación.

Los grandes desafíos mundiales –hacer frente al cambio climático, reducir las desigualdades, garantizar la seguridad alimentaria, prevenir las pandemias– están relacionados con bienes públicos, por lo que resulta improbable que el sector privado por sí solo consiga aportar recursos de innovación suficientes para resolverlos. En este sentido, la respuesta al cambio climático tampoco puede depender de la labor pública y privada de economías aisladas. Solo se logrará resolver esos desafíos mundiales mediante la colaboración coordinada a escala internacional entre múltiples partes interesadas.

Los ecosistemas de innovación determinan la dirección de la innovación



¿En qué dirección va la innovación?

Desde que el ingeniero escocés James Watt (1736-1819) inventara la máquina de vapor hace más de 250 años, lo cual significó en la práctica el inicio de la Primera Revolución Industrial, los rápidos avances tecnológicos han generado un crecimiento económico más extendido que ha beneficiado a países y partes interesadas de economías de todo el mundo. Actualmente, el mundo está en los albores de otra revolución industrial, la cuarta, que se basa en tecnologías digitales como la robótica, la inteligencia artificial y la inteligencia de datos.

El volumen de la inversión y la velocidad con la que los países, las industrias y las empresas invierten en transformar los recursos humanos y financieros de investigación y desarrollo (I+D) en nuevas tecnologías determinarán en gran medida el crecimiento económico, el nivel de vida y el bienestar general mundial en el futuro.

Sin embargo, no siempre es sencillo adoptar decisiones relativas a la innovación, entendida como nuevos productos y procesos en el mercado. En algún momento, las nuevas tecnologías prometedoras compiten con las existentes desde la perspectiva del posible rendimiento. Tanto la máquina de vapor como la electricidad o Internet contaban con alternativas viables que podrían haberlas sustituido o haber impedido su desarrollo. En el siglo XIX, el motor térmico Stirling se consideró una tecnología que podía rivalizar seriamente con la máquina de vapor, pero no era tan adecuada a las materias primas disponibles o las necesidades industriales de entonces. A finales del siglo XX, el alumbrado urbano funcionaba principalmente con gas. Cuando la electricidad se generalizó en los años posteriores, y no antes, las ciudades comenzaron a sustituir al alumbrado de gas por la iluminación eléctrica, que era más segura, menos costosa y más intensa. En los años ochenta, más de un decenio antes del auge del correo electrónico y la Internet, en Francia ya se utilizaba el servicio de contenidos interactivos en línea Minitel, que servía para comunicarse o adquirir productos por medio de una pantalla, un teclado y un módem vinculado a la red telefónica. Resulta irónico que esa tecnología, pionera en aquel momento, aunque finalmente no llegara a buen término, tuvo tan buena acogida que en Francia se retrasó la adopción de la Internet en comparación con las economías vecinas que carecían de un sistema innovador similar.

Por lo tanto, decidir qué senda tecnológica tomar no es una tarea sencilla. Si bien las oportunidades tecnológicas pueden ser abundantes en algún momento determinado, no sucede lo mismo con los recursos económicos que pueden invertirse en innovación. El número de personas con talento (en el ámbito de la ingeniería, la ciencia o la empresa) y los recursos financieros que pueden destinarse a actividades de innovación son limitados. Con la finalidad de obtener los mejores rendimientos de las inversiones en I+D, las empresas privadas y los emprendedores siempre sopesan las perspectivas de la tecnología y las preferencias de los consumidores por una u otra tecnología antes de adoptar decisiones relativas a la innovación. Por ejemplo, a principios del siglo XX los automóviles de gasolina coexistieron con los eléctricos. Sin embargo, fuera de las zonas urbanas apenas se disponía de infraestructuras de red eléctrica, y era menos costoso crear una infraestructura para los automóviles de gasolina. En consecuencia, los consumidores preferían la autonomía que les proporcionaban los vehículos de gasolina.

Cuanto mayor éxito obtiene una decisión innovadora, más transgresora o “disruptiva” puede ser. Por ejemplo, los teléfonos móviles han transformado el mercado de la telefonía. Para producir las innovaciones de éxito, se crean nuevas empresas y sectores industriales que sustituyen a los productores de las innovaciones menos afortunadas. Los gobiernos y los encargados de la formulación de políticas se enfrentan a la dificultad de escoger a los ganadores al decidir la mejor manera de utilizar el dinero de los contribuyentes y formular políticas que respalden la innovación.

Lo que los economistas denominan la “dirección de la innovación” (el tema de la presente edición del Informe mundial sobre la propiedad intelectual) es la combinación o la suma de todas las decisiones que

Lo que los economistas denominan la “dirección de la innovación” es la combinación o la suma de todas las decisiones que las personas, las empresas, las universidades y los gobiernos adoptan en cuanto a qué oportunidades tecnológicas aprovechar

las personas, las empresas, las universidades y los gobiernos adoptan en cuanto a qué oportunidades tecnológicas aprovechar. Las repercusiones económicas a corto plazo de la dirección de la innovación son relativamente fáciles de anticipar y coordinar. Para hacer frente a la pandemia de la COVID-19, los gobiernos y las empresas reorientaron satisfactoriamente la inversión en innovación hacia el descubrimiento, la aprobación y la producción masiva de vacunas (véase el capítulo 3) y lograron el objetivo en un tiempo récord. Las vacunas redujeron drásticamente el número de muertes causadas por la enfermedad y ayudaron a la economía mundial a recuperarse de la depresión provocada por la pandemia en 2020, y las empresas privadas que participaron en la producción de vacunas obtuvieron unos ingresos considerables.

En cambio, los rendimientos económicos a largo plazo de la dirección de la innovación son mucho menos predecibles y más difíciles de coordinar. Por ejemplo, es complicado prever los efectos que la COVID-19 tendrá en el futuro. Igualmente, la labor actual dirigida a producir tecnologías “limpias” para frenar las

emisiones de CO₂, el principal gas de efecto invernadero, hasta ahora ha generado resultados inciertos. No está claro si se dedican bastantes recursos o si las vías tecnológicas que se han explorado son suficientemente complementarias para superar la crisis del calentamiento global (véase el capítulo 3). Las decisiones tecnológicas pueden brindar oportunidades comerciales impredecibles, a veces, en un futuro lejano. Como se explica en el capítulo 2, los paneles solares se crearon inicialmente en un programa espacial de los Estados Unidos de América a finales de la década de los cincuenta, pero pasaron muchos años hasta que comenzó su uso comercial.

Además, no solo se plantea la cuestión de cuánto invertir, sino la de cómo distribuir la inversión entre las distintas opciones tecnológicas. La asignación de recursos humanos y financieros a determinadas actividades de innovación puede determinar la dirección de la innovación en las comunidades y los países, e incluso en el mundo, en los próximos decenios.

¿De qué manera contribuyen las políticas públicas a determinar la dirección de la innovación? Los gobiernos nacionales ya tratan de dirigir la innovación de muchas formas mediante la financiación de la educación superior o de actividades de investigación. La mayor parte de las economías cuentan con instituciones académicas, como universidades y otros centros de educación superior, en las que se imparten programas de formación e investigación financiados con fondos públicos. Ello forma parte de las políticas a largo plazo mediante las que se trata de contrarrestar la incertidumbre y los amplios horizontes de las ciencias básicas. Los gobiernos también financian programas tecnológicos y científicos orientados a una misión, como la Administración Nacional de Aeronáutica y el Espacio (NASA) de los Estados Unidos de América o la Agencia Espacial Europea, que a menudo recurren a los avances tecnológicos del sector privado.

Las políticas públicas y las decisiones de innovación adoptadas por las empresas privadas coexisten en un ecosistema de innovación complejo en el que intervienen personas –por ejemplo, científicos–, organismos públicos y empresas multinacionales, entre otros. Los gobiernos y las empresas privadas pueden complementarse o, por el contrario, competir por los recursos limitados dedicados a la innovación. En ambos casos, se influyen mutuamente de forma constante. Por ejemplo, el programa espacial de los Estados Unidos de América, la NASA y la industria aeroespacial de ese país se crearon a petición del Gobierno (véase el capítulo 2). Es indispensable comprender los ecosistemas de innovación para formular políticas eficientes en este ámbito que asignen los recursos de tal forma que se oriente y se dirija la innovación hacia las necesidades concretas del mundo.

Los descubrimientos científicos del pasado contribuyen a crear nuevos productos innovadores en el

futuro. La investigación científica básica efectuada a lo largo de los años y los avances logrados en los ámbitos de la biología y la genética posibilitaron la rápida elaboración de las vacunas contra la COVID-19 (véase el capítulo 3). Los ingenieros y los empresarios se basan en las elecciones de los gobiernos y de los consumidores privados para decidir qué nuevos productos desarrollar.

Actualmente, varias tecnologías están a punto de generar transformaciones importantes, por ejemplo, las energías renovables, la modificación genética y las nanotecnologías. La nueva revolución industrial basada en las tecnologías digitales ya está generando cambios profundos en la economía mundial, la reconfiguración de las cadenas de valor (y de suministro) internacionales y locales y la transformación del papel de la mano de obra en el sector de los servicios. Unas industrias destacarán y otras se quedarán atrás.

Las nuevas tecnologías digitales pueden contribuir a hacer frente a los “grandes desafíos” mundiales, como el calentamiento global o futuras pandemias (véase el capítulo 3). Ahora bien, ¿cómo pueden asegurarse los encargados de la formulación de políticas de que la innovación necesaria siga adelante? ¿Cómo pueden fomentar la innovación en los ámbitos que mejoran el bienestar social, como las tecnologías sostenibles y socialmente responsables?

El presente informe tiene por objeto examinar esos temas fundamentales. En el capítulo 1 se estudian los principales elementos conceptuales que determinan la dirección de la innovación, se presentan los factores económicos que intervienen y se define la dirección de la innovación en el contexto de los ecosistemas de innovación. En el capítulo 2 se examinan esos conceptos desde la perspectiva de tres estudios de casos históricos relativos a la innovación en la Segunda Guerra Mundial, el surgimiento de la industria espacial y el auge del sector de las tecnologías de la información en Asia. En el capítulo 3 se prevén las maneras en las que la innovación puede responder a tres grandes desafíos concretos, a saber, crear tecnologías limpias para contener el calentamiento global, aplicar las lecciones extraídas de la crisis de la COVID-19 y lidiar con las nuevas tecnologías digitales disruptivas.

Tecnologías que impulsan el crecimiento de la innovación

**Motor y
transporte**



1895–1925



Biofarmacia

1930–1960



TIC

1965–2000



**Tecnologías
digitales**

2000–2020

Establecer el rumbo de la innovación

¿Qué se entiende por “dirección de la innovación”? Es la suma de todas las decisiones que las personas, las empresas, las universidades y los gobiernos adoptan, en un momento determinado y en cualquier ámbito de actividad, en cuanto a qué líneas de innovación seguir. Si bien las oportunidades tecnológicas y científicas para innovar pueden ser abundantes, los recursos financieros y humanos que se invierten en la innovación son limitados. Algunas decisiones relativas al objeto de la innovación acaban obteniendo un éxito extraordinario, como las nuevas vacunas de ácido ribonucleico mensajero (ARNm) elaboradas para combatir el coronavirus del síndrome respiratorio agudo grave 2 (SARS-CoV-2), de las que se habla más adelante y en el capítulo 3. Otras no llevan a ninguna parte.

Es probable que las decisiones relativas a la innovación adoptadas por las personas y las empresas estén motivadas por la perspectiva de obtener beneficios económicos. Sin embargo, también pueden tener repercusiones socioeconómicas positivas o negativas en contextos diferentes del puramente empresarial. Por lo tanto, las decisiones pueden coincidir o juxtaponerse con las expectativas sociales y privadas relativas a la dirección de la innovación. En la sección 1.1 se examinan esas expectativas mediante el análisis de los conceptos de rendimientos privados y sociales de la innovación. El complejo ecosistema de las interacciones entre las empresas, las universidades y los gobiernos se estudia en la sección 1.2. En la sección 1.3 se examinan los factores económicos que determinan la dirección de la innovación. En la sección 1.4 se enumeran los principales instrumentos disponibles para fomentar la innovación y se analiza cómo pueden determinar la dirección de la innovación. La sección 1.5 está dedicada a las maneras en las que se puede propiciar la innovación en los países menos desarrollados. El capítulo concluye con la sección 1.6, en la que figuran observaciones generales sobre la dirección de la innovación en el futuro.

1.1 Rendimientos sociales y del sector privado

Las empresas privadas y los empresarios adoptan constantemente decisiones sobre la innovación de la que esperan obtener beneficios para sus negocios. Deciden acerca de la conveniencia financiera de incorporar nuevas tecnologías en los procesos de producción o de crear nuevas tecnologías o productos. También toman decisiones sobre el tipo de oportunidades

tecnológicas que desean aprovechar. Por ejemplo, las empresas dedicadas a elaborar las vacunas contra la enfermedad por coronavirus (COVID-19) escogieron entre las tecnologías tradicionales de producción de vacunas, consistentes en utilizar un microorganismo debilitado o desactivado de la enfermedad para crear una defensa, y la nueva tecnología de ARNm. Esta última genera una porción minúscula de código del virus SARS-CoV-2 para estimular la respuesta inmunitaria de producción de anticuerpos.

El rendimiento (es decir, esencialmente, las ganancias) que el sector privado obtiene de esas decisiones está dado por la diferencia entre los ingresos que las empresas y los empresarios obtienen de la comercialización de las innovaciones y todos los costos en los que se ha incurrido para desarrollarlas (incluidos todos los intentos fallidos precedentes). Los gobiernos pueden atenuar algunos de los costos mediante políticas fiscales, subvenciones y préstamos. También pueden asegurar unos ingresos por la innovación del sector privado mediante garantías de precios. Estas políticas de innovación se analizan con más detalle en la sección 1.4.

El rendimiento social consiste en los efectos de las innovaciones en la sociedad en su conjunto, así como en la economía en general y en el medio ambiente, y no solo en los beneficios empresariales. El concepto incorpora todos los beneficios o ganancias que han obtenido las empresas privadas, así como las innovaciones científicas y tecnológicas creadas en las universidades y en las instituciones públicas de investigación. Estas alimentan la innovación del sector privado mediante empresas emergentes y derivadas de la investigación universitaria.

Las innovaciones pueden tener un efecto socioeconómico transformador –positivo o negativo– en el medio ambiente, la salud pública, las comunidades locales o grupos demográficos concretos, por mencionar algunos ejemplos. En muchas ocasiones, cuando se decide tomar una línea determinada de innovación en el sector privado, no se tienen en cuenta esos efectos, que son un aspecto del rendimiento social. Los economistas califican esas innovaciones transformadoras de “externalidades”, porque a menudo quienes las generan no tienen la intención de hacerlo.

Por ejemplo, cuando una empresa crea una nueva tecnología menos costosa y más productiva, en igualdad de condiciones debería obtener un rendimiento privado positivo en forma de más ganancias, puesto que ha ganado ventaja competitiva. Ahora bien, si la tecnología resulta ser más respetuosa con el medio ambiente, también beneficiará a la comunidad en general desde el punto de vista socioeconómico. Cuanto más rápido se expanda esta tecnología menos contaminante a otras empresas y mercados, mayores serán los rendimientos sociales. Por el contrario, una empresa privada que desarrolle una nueva tecnología más barata y productiva que sea más contaminante también podrá obtener mayores beneficios, pero los efectos socioeconómicos serán negativos.

Los particulares interesados estarán más dispuestos a aprovechar las oportunidades de innovación cuando los rendimientos esperados pueden preverse y son fáciles de expresar en términos monetarios. Es probable que les atraigan los proyectos de innovación en los que el riesgo de fracaso es menor y el tiempo de desarrollo y el tamaño del proyecto son más reducidos (los riesgos tienden a ser menores cuando se produce a pequeña escala). Las oportunidades de innovación que se basan en estos parámetros probablemente son más difíciles de monetizar.¹

Dicho esto, las oportunidades de innovación más arriesgadas, a más largo plazo y a mayor escala, con frecuencia tienen más posibilidades de generar rendimientos sociales positivos. Por ejemplo, tecnologías revolucionarias como la máquina de vapor, la electricidad o la Internet posteriormente se generalizaron y dieron lugar a innovaciones subsiguientes en muchos sectores distintos. Estas tecnologías denominadas “de uso general” se examinan en mayor detalle en la sección 1.3. Esa generalización a menudo no se produce de manera inmediata, y las inversiones iniciales pueden parecer inciertas o incluso arriesgadas en un momento determinado.

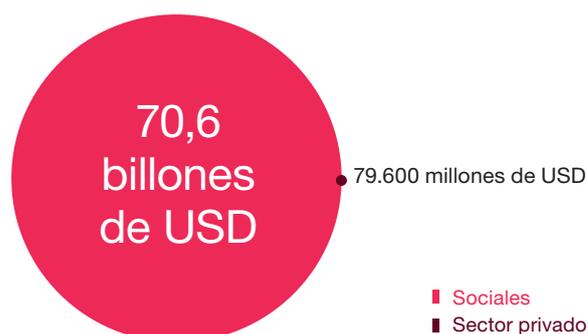
Cuando se trata de hacer frente a los desafíos más importantes de la sociedad, surgen numerosas oportunidades de innovación. Desafíos como el calentamiento global, las pandemias o la delincuencia ejercen presión para que se produzcan tecnologías limpias, vacunas o mecanismos de seguridad más eficaces. La innovación

puede promover el intercambio o la divulgación de conocimientos y la acumulación de capital humano. Los gobiernos tal vez deseen que las empresas transmitan sus innovaciones a otras empresas en pos del bien común de la economía, lo que conllevaría una mano de obra mejor formada y capacitada, aunque ello limitara los posibles rendimientos que la innovación reporte al sector privado.

Promover al mismo tiempo los rendimientos sociales de la innovación y los del sector privado es una tarea difícil para los gobiernos. A menudo, estos deciden centralizar las actividades y recursos en las innovaciones que afectan a los bienes públicos, es decir, a los productos o servicios que se ponen a disposición de todas las personas de forma gratuita, como la defensa nacional o los conocimientos. Por ejemplo, los gobiernos financian la investigación y educación públicas para mejorar la creación de nuevos conocimientos científicos y divulgarlos de manera más amplia. Los gobiernos también representan la mayor parte de la demanda de tecnologías innovadoras en determinados sectores estratégicos, como la defensa o la salud.² Un ejemplo claro y reciente de ello son las distintas iniciativas públicas (como la Operación Warp Speed de los Estados Unidos de América) que facilitaron y aceleraron la elaboración, fabricación y distribución de las vacunas contra la COVID-19 y de terapias y diagnósticos para tratar la enfermedad (véase el capítulo 3, recuadro 3.1).

El beneficio social generado por las vacunas contra la COVID-19 supera con creces el beneficio privado.

Gráfico 1.1. Estimación de los beneficios sociales y del sector privado, en dólares de los Estados Unidos de América (USD)



Fuente: Basado en las estimaciones de Fink (2022)

La dirección de la innovación cambia constantemente debido a las decisiones que toman las partes interesadas públicas y del sector privado que tratan de optimizar los rendimientos para el sector privado y sociales de la innovación, en distintos ámbitos y sectores empresariales, así como a las interacciones entre dichas partes interesadas. En la sección siguiente se examina esta interacción en un ecosistema complejo cuando se trata de determinar la dirección de la innovación.

Recuadro 1.1**Los beneficios sociales de la vacuna contra la COVID-19 frente a los beneficios del sector privado**

Debido al alcance mundial de la pandemia de COVID-19 y a sus graves efectos económicos, los rendimientos del sector privado y sociales de una vacuna eficaz fueron necesariamente elevados. Ahora bien, ¿cuán elevados, exactamente?

A partir de los datos sobre los precios de las vacunas que llegaron a comercializarse y de la hipótesis de que la vacuna acabará aplicándose al 75% de la población mundial, Fink (2022) estima que los ingresos totales del sector privado serán de 130.500 millones de dólares de USD. Si bien los costos exactos de investigación y desarrollo (I+D) son inciertos, este dato representa un rendimiento considerable de la inversión para el sector privado.

Dicho esto, los beneficios sociales de las vacunas son exponencialmente mayores. Consisten en el valor de las vidas que se salvaron y del deterioro de la salud que se evitó, así como en el valor de impedir las pérdidas de producción económica al reducir la necesidad de medidas como el confinamiento que fueron adoptadas por los gobiernos para contener la pandemia. El estudio se basa en un modelo contrafactual de análisis epidemiológico basado en los casos de infección anterior a la vacuna y en el logro hipotético de la inmunidad colectiva. A continuación, se aplican las estimaciones del denominado “valor de una vida estadística” y las pérdidas de producción económica mundial del año 2020, cuando aún no se contaba con las vacunas, para estimar unos beneficios sociales de 70,5 billones de USD, lo cual representa unos beneficios 887 veces mayores que los de carácter privado.

Las vacunas eficaces contra la COVID-19 probablemente podrían haberse descubierto sin la financiación pública de I+D. Sin embargo, el rendimiento social sumamente elevado de la innovación que dio lugar a las vacunas eficaces pone de manifiesto los motivos por los que los gobiernos movilizaron fondos y ayudaron a coordinar los ensayos clínicos y a aumentar la capacidad de fabricación.

El estudio de Fink también analiza el modo en el que la aparición de variantes del virus, la necesidad de las dosis de refuerzo y las distintas vías epidemiológicas influyen en los rendimientos sociales y del sector privado. Estos son elevados en relación con las cuantías viables de la inversión en I+D, y se ha observado que los beneficios sociales siempre son al menos 220 veces mayores que los beneficios del sector privado.

El cálculo del rendimiento social no tiene en cuenta varios efectos socioeconómicos que son difíciles de cuantificar y, en cierta medida, tal vez solo se materialicen a largo plazo. Algunos de esos efectos son el acceso limitado a la asistencia sanitaria, puesto que la pandemia colapsó los sistemas de salud; las carencias en la educación debidas al cierre prolongado de las escuelas; la pérdida de empleo y la salida permanente del mercado de trabajo; y el aumento de la deuda pública en porcentaje del PIB (producto interior bruto), que pone en duda la sostenibilidad fiscal y menoscaba otras inversiones públicas.

Además, los primeros indicios señalan que la pandemia está asociada con una reducción del 5% de los ensayos clínicos relativos a otras enfermedades que no sean la COVID-19.³ La redistribución de los recursos de I+D puede ser beneficiosa para la sociedad, dada la amenaza que plantea el virus, pero ello puede tener el precio de un menor progreso en la lucha contra otras enfermedades.

1.2 Interacciones en los ecosistemas de innovación

Las instituciones científicas pueden decidir influir en la dirección de la innovación hacia determinados ámbitos mediante, por ejemplo, la elaboración de más programas aplicados para formar a ingenieros especializados o la transferencia de tecnología a determinados sectores. Los sectores industriales y las empresas pueden optar por intensificar la inversión en I+D y otras actividades que generan innovación. El objetivo es crear nuevas tecnologías o absorber las existentes elaboradas por las partes interesadas de otros ecosistemas de innovación, como universidades, proveedores o empresas competidoras.⁴ Para determinar la dirección de la innovación, los gobiernos asignan los recursos humanos y financieros a través de una amplia variedad de instrumentos de política pública (véase la sección 1.4).

Cabe definir el ecosistema de la innovación como la combinación de todas las partes interesadas que adoptan decisiones que influyen en los resultados de la innovación y, en consecuencia, en la dirección que esta toma. Las partes interesadas son empresas que pueden ser desde proveedores especializados hasta fabricantes o minoristas que venden al consumidor final y, como se ha señalado, instituciones con una misión científica y tecnológica como las universidades o las instituciones públicas de investigación. Ahora bien, los ecosistemas también pueden contar con instituciones cuya misión principal no sea de carácter científico o tecnológico, por ejemplo, organismos públicos, instituciones financieras u oficinas de propiedad intelectual (PI). El nivel de articulación de un entorno de la innovación no solo está definido por el grado de desarrollo de las instituciones,

sino también por sus interacciones. Las decisiones e interacciones que tienen lugar en el ecosistema influirán en gran medida en la dirección de la innovación.

Agrupación geográfica y temática de los ecosistemas

Varias corrientes de pensamiento de las ciencias económicas y sociales han estudiado la noción de los ecosistemas de innovación.⁵ Las partes interesadas en el ecosistema participan en flujos de conocimiento e ideas no lineales y sumamente interdependientes que acaban generando innovación.

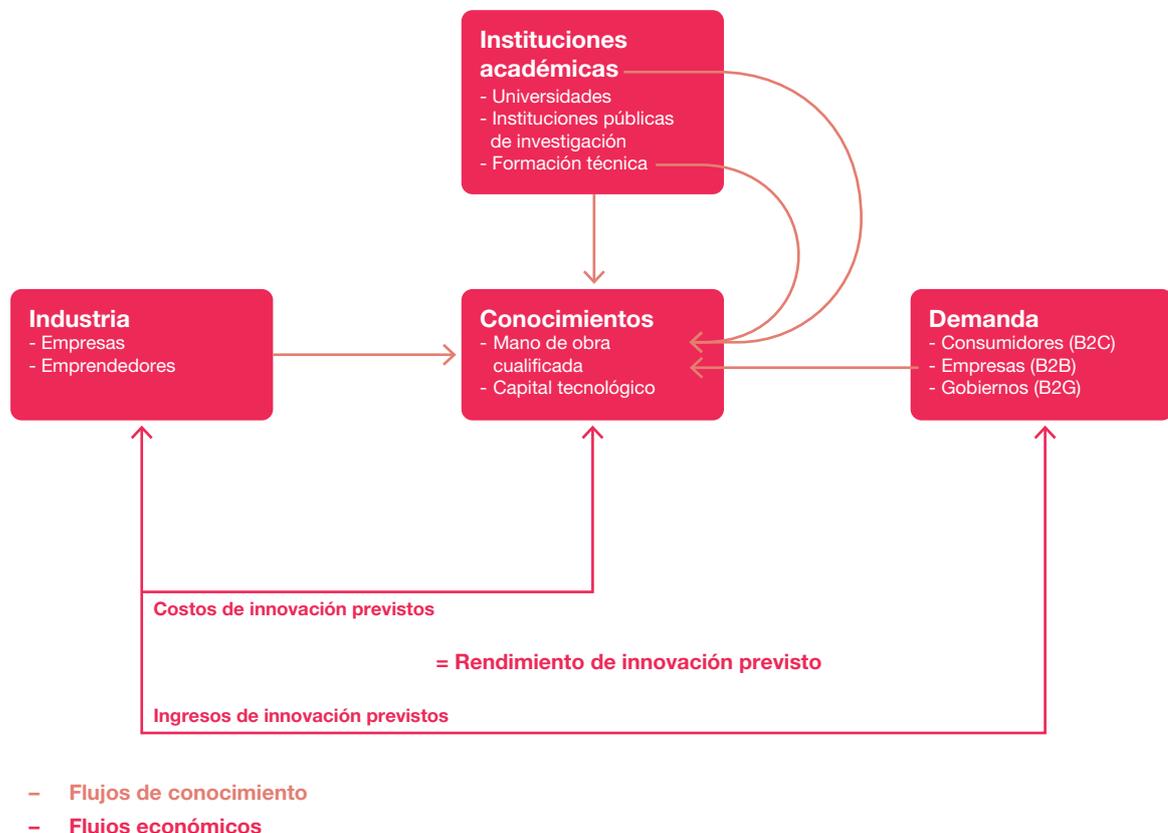
Se ha observado que la innovación y el conocimiento prosperan con más facilidad dentro de unas delimitaciones geográficas y temáticas determinadas.⁶ Las personas y las instituciones de la misma ciudad o región multiplicarán sus interacciones formales o informales, lo cual aumentará las posibilidades de que circulen los conocimientos y progrese la innovación. Este principio también es aplicable a un ecosistema de innovación con tecnologías o vínculos comerciales comunes, como en una cadena de valor mundial específica. Las personas e instituciones con

un contexto científico, tecnológico o industrial similar también se comunicarán más fácilmente entre sí, lo cual propiciará el intercambio de conocimientos.⁷ La zona de San Francisco denominada Silicon Valley, que alberga un dinámico ecosistema de innovación en el ámbito de las tecnologías de la información y las comunicaciones (TIC), es un ejemplo de concentración a la par geográfica y temática. Por otra parte, las cadenas de valor mundiales de los fabricantes de automóviles son ejemplos de concentración temática, pero no geográfica. Se trata de flujos específicos de innovación en todas direcciones que conectan a proveedores de piezas de automóviles y fabricantes que las ensamblan en distintas partes del mundo.

Cabe señalar que la proximidad geográfica y temática se basa en la movilidad de personas cualificadas, que representan los mejores cauces de los flujos de conocimiento, especialmente aquellos con conocimiento implícito. Las personas con talento pasan de un empleo a otro en el mismo ecosistema y, de este modo, transmiten información y conocimiento. Sin embargo, la ausencia de proximidad geográfica o temática no impide necesariamente que los ecosistemas de innovación se vinculen con partes interesadas externas u otros ámbitos científicos y tecnológicos.

Las partes interesadas de los ecosistemas de innovación interactúan para innovar

Gráfico 1.2. Resumen conceptual de las interacciones entre las partes interesadas del ecosistema



Fuente: Adaptación de Schmookler (1962a) y Kline y Rosenberg (1986).

Nota: B2C = entre empresas y consumidores; B2B = entre empresas; B2G = entre empresas y la Administración.

Cómo se determina la dirección en un ecosistema

La interacción entre las partes interesadas de un ecosistema de innovación se basa en los flujos de conocimiento, que se acumulan en esos ecosistemas y determinan las posibles oportunidades de innovación de que disponen las partes interesadas, quienes, a su vez, determinan la dirección de la innovación. En el gráfico 1.2 se resumen estas interacciones, que se examinan a continuación.

En los ecosistemas de innovación, cada parte interesada contribuye y recurre a un conjunto de conocimientos.⁹ Los profesores universitarios transmiten estos conocimientos para formar a los científicos, especialistas en tecnología y empresarios del futuro en las universidades o en programas de educación técnica, mientras que las personas dedicadas a la investigación aportan al conjunto nuevos conocimientos de ciencias básicas y aplicadas. Los ingenieros y los especialistas en tecnología aplican estos conocimientos en su trabajo para empresas, universidades u organismos públicos, lo cual contribuye a nutrir la base experimental y técnica. Los empresarios utilizan estos conocimientos al crear nuevas empresas y los incrementan cuando inventan nuevos productos o procesos.

¿Qué determina la dirección de la innovación elegida por las partes interesadas? En un mismo momento, concurren varias interacciones. En primer lugar, cabe mencionar la curiosidad, que lleva a los investigadores a estudiar otros ámbitos científicos y a los ingenieros a experimentar con técnicas novedosas o nuevas tecnologías. La curiosidad no solo está presente en las universidades o los programas de investigación de las instituciones públicas: cada vez más empresas cuentan con divisiones de ingeniería o unidades oficiales de I+D, en las que abunda la curiosidad científica y tecnológica. También pueden ser curiosas las personas ajenas a las universidades o a los laboratorios de las empresas. Thomas Edison (1847-1931), inventor autodidacta creador de la bombilla eléctrica y otras invenciones, Hedy Lamarr (1914-2000), actriz e inventora, y Steve Jobs (1955-2011), cofundador de Apple Inc., tenían una curiosidad brillante y creaban fuera de cualquier tipo de marco organizativo formal.¹⁰

Las empresas, los empresarios y los gobiernos detectan las oportunidades de innovación sobre la base de predicciones sobre los posibles rendimientos sociales y para el sector privado, es decir, las ganancias potenciales para las empresas o la sociedad.

Las empresas que tengan en mente un nuevo producto innovador evaluarán qué tipo de mano de obra cualificada y capital tecnológico se requerirán para crearlo y producirlo. Es posible que la mano de obra y el equipo necesarios ya estén disponibles en el mercado; de lo contrario, la empresa debe formar a sus trabajadores

o crear el equipo desde cero. A causa de los riesgos y los costos, es probable que las innovaciones salgan adelante con más rapidez en las zonas que ya cuentan con personas cualificadas y equipo. Por ejemplo, cuantos más científicos informáticos e ingenieros competentes y más equipos informáticos de *hardware* estén disponibles en un ecosistema de innovación, mayores serán las probabilidades de que los empresarios y las empresas se dediquen a la innovación relacionada con las TIC.

Por el contrario, la falta de capital o de mano de obra también puede generar oportunidades de innovación. La escasez de *hardware* informático avanzado puede crear oportunidades de innovación para los proveedores especializados en la industria de las TIC, como los que ofrecen servicios de computación compartida o servicios de computación y almacenamiento compartidos. El costo de la mano de obra especializada también puede motivar a los empresarios que producen equipos a crear una innovación que sustituya a la mano de obra. Varios académicos señalan que la escasez de mano de obra en los Estados Unidos de América durante el siglo XIX sirvió para concentrar la actividad innovadora en las tecnologías que ahorraban en mano de obra más deprisa que en el Reino Unido, que hasta entonces había liderado la industria mundial.¹¹ La insuficiencia de la mano de obra cualificada también puede estimular a las universidades y los organismos públicos para que creen programas de formación que proporcionen las cualificaciones necesarias en determinados sectores.

La innovación es sensible a las oportunidades que generan ganancias, que a su vez están vinculadas con el tamaño de un mercado real o potencial.¹² La perspectiva de una mayor demanda llevará a los empresarios y las empresas a invertir, puesto que tendrán una mayor certeza de que recuperarán los costos de innovación y obtendrán ganancias. La economía de escala también funciona en el proceso de innovación. Cuantas más personas se ocupen de resolver un problema, mayores serán las probabilidades de encontrar una solución innovadora. Del mismo modo, cuantas más personas reflexionen sobre un problema, más fácil será hallar el ingenio necesario para darle solución. Esta lógica puede trasladarse a recursos e instrumentos específicos.

El tamaño del mercado y las preferencias son de gran utilidad para explicar el ritmo al que las empresas innovan en una dirección determinada, como puede observarse en los mercados actuales de la informática y la telefonía móvil. El auge del consumo de automóviles (y la innovación aparejada) a principios del siglo XX se debió en mayor medida a los cambios económicos y sociales en determinadas regiones del mundo que a las oportunidades tecnológicas. Los conocimientos científicos y la tecnología del motor de combustión y otras piezas de automóviles precedieron al aumento de la demanda y el suministro. De hecho, algunos

académicos sostienen que para el progreso de la innovación automovilística en los Estados Unidos de América fue indispensable el surgimiento de una clase media relativamente pudiente que podía permitirse pagar el precio de los automóviles.¹³

El mercado no solo comprende los consumidores finales particulares, sino también otras empresas de la cadena de suministro, así como los gobiernos e instituciones. Como se ha mencionado, la escasez y el costo de la mano de obra cualificada o del capital tecnológico quizás abran posibles mercados para las empresas que suministran equipo nuevo u ofrecen formación especializada. Esos mercados entre empresas también ayudan a determinar la dirección de la innovación. El costo de la mano de obra puede estimular a los proveedores especializados en maquinaria y equipo para impulsar la innovación en los ámbitos de la robótica y la automatización para otros sectores. Igualmente, el costo del transporte puede fomentar la innovación en las tecnologías de contenerización y de impresión en tres dimensiones (3D).

Los gobiernos contribuyen a la innovación al financiar la investigación y la educación públicas, y representan la principal fuente de demanda de tecnologías innovadoras en sectores estratégicos. Las políticas públicas a menudo conllevan y promueven cambios en los programas académicos para aumentar la oferta de mano de obra cualificada. Este era el objetivo de los institutos de investigación creados en la República de Corea en los años sesenta y setenta, por ejemplo, el Instituto Especializado de Ciencia y Tecnología de Corea (véase el capítulo 2). A partir de los años noventa, también se crearon institutos similares en China. En ambos casos, las instituciones impulsaron la formación de una mano de obra especializada

para el sector de las tecnologías de la información (TI). Los ámbitos en los que los gobiernos representan la mayor parte de la demanda de tecnologías innovadoras son la defensa, la salud, la educación y la agricultura.¹⁴

1.3 Factores económicos

Las decisiones que adoptan las partes interesadas de los ecosistemas de innovación modifican constantemente la dirección de la innovación. En la presente sección se estudia cómo pueden “consolidar” o “ampliar” dicha dirección.

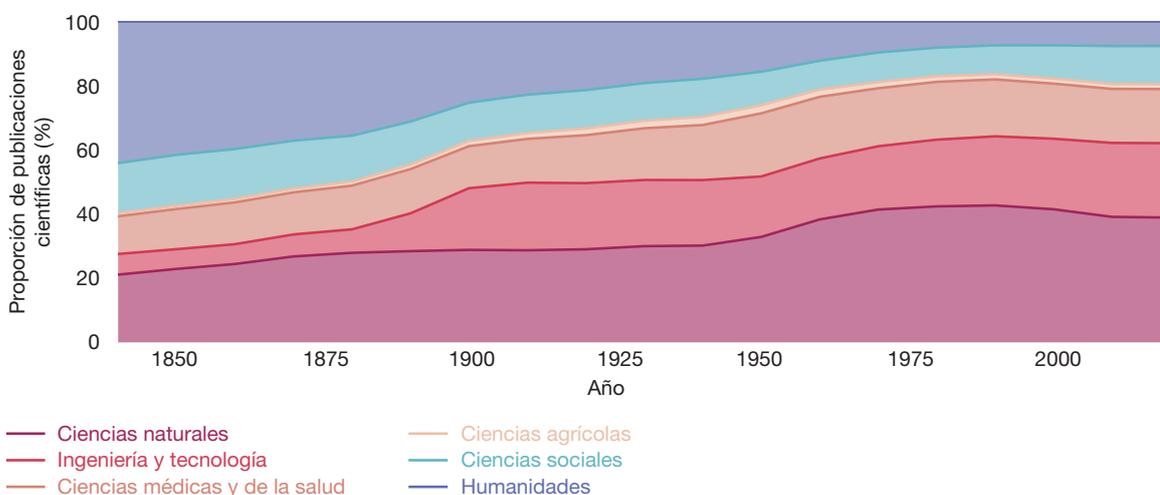
“Consolidar” la dirección de la innovación

Los recursos económicos tienden a concentrarse en las tecnologías más rentables y en los sectores que las utilizan. En consecuencia, se refuerzan las decisiones tecnológicas efectuadas y se da prioridad a las innovaciones e industrias más provechosas. Este mecanismo de refuerzo “consolida” las decisiones de innovación actuales en los ámbitos y los sectores científicos y, por lo tanto, contribuye en gran medida a determinar la dirección de la innovación.

Las empresas o los gobiernos pueden influir directamente en la dirección de la innovación mediante la mera asignación de más personas con talento y mayores recursos financieros a un ámbito o sector específico. La contratación de más científicos y la adquisición de equipo de I+D acelera el ritmo del hallazgo y la innovación científicos en un ámbito tecnológico determinado. Algunos ejemplos de ello son la labor realizada durante la primera mitad del

La producción científica se centra en las “ciencias duras”

Gráfico 1.3. Proporción de publicaciones científicas por ámbito de la ciencia (1840-2019)



Fuente: Microsoft Academic Graph.

Nota: Basado en los ámbitos científicos definidos por la Organización de Cooperación y Desarrollo Económicos (OCDE).

siglo XX para descubrir nuevos antibióticos o, más recientemente, la centrada en producir vacunas contra la COVID-19 (véanse los capítulos 2 y 3).¹⁵ Destinar más recursos de innovación probablemente también generará mayores innovaciones relativas a los procesos de producción. Las unidades de I+D de las empresas pueden generar ideas nuevas o adaptar las existentes para aumentar la eficiencia de la producción actual. Constantemente se publican estudios económicos en los que se concluye que las empresas privadas y sectores que más invierten en I+D son los que obtienen la mayor producción por cada unidad de capital o mano de obra invertida.¹⁶

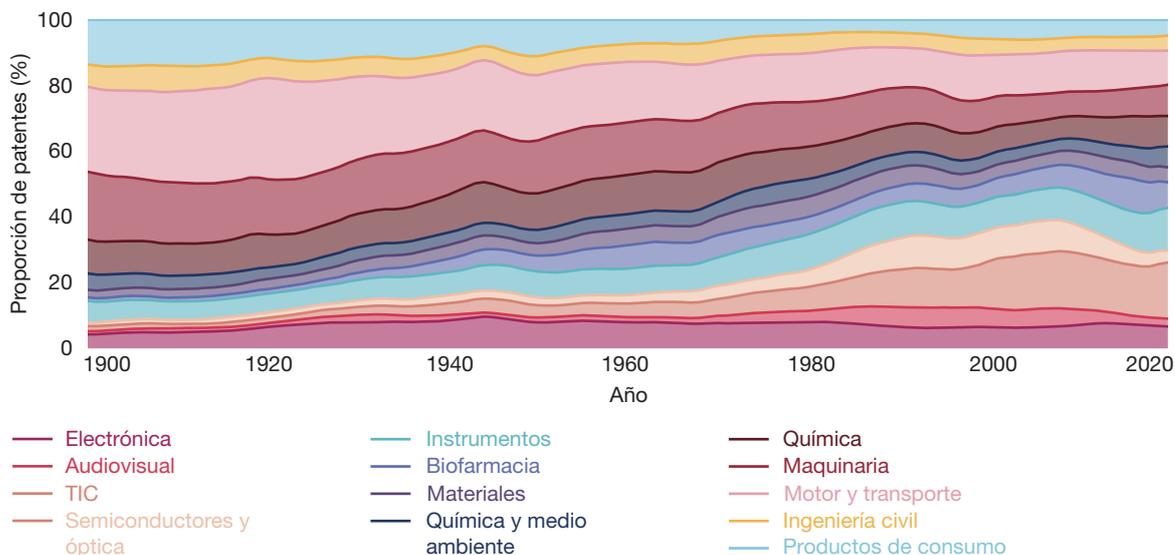
La dirección de la innovación está relacionada intrínsecamente con la asignación de recursos. Los ámbitos y los sectores a la cabeza de la inversión constante en I+D acabarán adelantando desde el punto de vista científico, tecnológico y de producción innovadora a los que menos invierten. Por ejemplo, hace un siglo, el interés científico en la virología y las inversiones en la producción de vacunas contra los virus eran mucho menores que en la actualidad, incluso en valores relativos (es decir, teniendo en cuenta el distinto nivel de conocimientos de entonces). La consiguiente dirección que adoptó la innovación y el aumento de la actividad innovadora no solo se deben a los descubrimientos posteriores en ese ámbito, sino también a la rápida redistribución de recursos para destinarlos a esos descubrimientos y los sectores relacionados. Las cadenas de valor multinacionales y complejas de los sectores de la automoción y la aeronáutica en la actualidad tienen su origen en las innovaciones creadas por inventores, en ocasiones aficionados, en talleres privados e informales hace más de un siglo.

(Los hermanos Wright, reconocidos por haber logrado el primer vuelo a motor, comenzaron su carrera en una tienda de reparación de bicicletas.) Los teléfonos móviles y las aplicaciones de Internet, que son relativamente recientes, en la actualidad son herramientas habituales de trabajo y de ocio. Todas las situaciones mencionadas son ejemplos de oportunidades científicas y tecnológicas que, en unos pocos decenios, pasaron de no recibir nada de los gobiernos y las empresas a obtener de ellos abundantes recursos humanos y financieros.

Los datos históricos sobre las publicaciones científicas también señalan un cambio rápido en la asignación de recursos a la innovación (véase el gráfico 1.3). La proporción de publicaciones científicas por ámbito de la ciencia refleja las preferencias de las partes interesadas del mundo científico en esos distintos ámbitos, lo cual indica la dirección efectiva de la ciencia y, en definitiva, de la innovación.¹⁷ La proporción de publicaciones en los distintos ámbitos científicos cambió considerablemente entre principios del siglo XIX y la segunda mitad del XX. Durante este período, se incrementó la proporción total de la investigación relativa a las ciencias de la salud, la ingeniería y las ciencias naturales, a menudo denominadas “ciencias duras”. Desde principios del siglo XIX hasta la década de 2010, la proporción de publicaciones sobre ciencias naturales en ámbitos como las matemáticas, la física, la química o la biología aumentó del 16% al 36% del total de las publicaciones científicas de las que se tiene constancia. En el mismo período, la proporción de publicaciones relativas a la ingeniería aumentó del 7% al 24%, mientras que en los ámbitos de las ciencias médicas y la salud aumentó del 9% al 16%.

Un siglo de transformación de la innovación: de los motores a las TIC

Gráfico 1.4. Proporción de patentes por sector de la tecnología (1900-2020)



Fuente: Oficina Europea de Patentes (OEP), Base Mundial de Datos sobre Estadísticas de Patentes (PATSTAT) (consultada en octubre de 2021).
Nota: Basado en los sectores de la tecnología definidos por la OMPI.

Asimismo, las solicitudes de patente en los distintos sectores de la tecnología pueden reflejar la dirección de la innovación adoptada por las partes interesadas. La distribución entre los distintos sectores de la tecnología del conjunto de primeras solicitudes de patente presentadas en todo el mundo es un indicador muy claro del rápido cambio de la dirección de la innovación (véase el gráfico 1.4). No es sorprendente que, en el último siglo, los sectores de la tecnología relacionados con las TIC fueran los que más crecieron proporcionalmente. La TIC que más creció fue la informática, que en la década transcurrida hasta 2020 representó más del 10% de todas las patentes. En los ámbitos de las comunicaciones digitales, las telecomunicaciones y los semiconductores puede observarse una tendencia similar. La mayor concentración de patentes sobre las TIC se produjo principalmente en detrimento de las tecnologías “tradicionales”, en particular, las relativas a la ingeniería mecánica, como las máquinas, las herramientas y los motores de combustión.

Las dinámicas de éxito refuerzan la tendencia a consolidar la dirección de la innovación. Los científicos y los especialistas en tecnología dirigirán su carrera hacia los ámbitos científicos y los sectores más productivos. Los empresarios y las grandes corporaciones darán prioridad a los proyectos (como la creación de nuevas empresas o productos) de los sectores prometedores. Con el tiempo, los recursos humanos y financieros de innovación se trasladarán naturalmente a los ámbitos y sectores más productivos. Este mecanismo refuerza y consolida las trayectorias de innovación de los ámbitos científicos y los sectores prósperos.

“Ampliar” la dirección de la innovación

Los sectores, las empresas y las instituciones científicas y tecnológicas de los ecosistemas de innovación interactúan constantemente. Sus actividades de innovación se benefician de las actividades económicas e innovadoras de los demás. Los ámbitos científicos teóricos sacan provecho de la utilización sistemática y continuada de la tecnología que hacen los especialistas en ciencias aplicadas e ingeniería. Los descubrimientos científicos logrados en un ámbito a menudo son una mera síntesis de conocimientos extraídos de distintas áreas. Los hallazgos en el campo de la física tienen efectos en los sectores de las TIC, mientras que las innovaciones relativas a la capacidad informática y el almacenamiento contribuyen a la productividad científica de los investigadores y las instituciones dedicadas al estudio de la física. Los laboratorios de investigación biológica utilizan cada vez más las impresoras en 3D para producir herramientas y equipo de laboratorio específicos para sus investigaciones. Al mismo tiempo, los especialistas en tecnología de impresión en 3D han estudiado las aplicaciones de la bioimpresión, como la construcción de órganos para implantes, a partir de conocimientos procedentes de la ciencia biológica.¹⁸

Los límites que separan la ciencia de la tecnología cada vez están menos definidos, tendencia que ya se inició a mediados del siglo XIX. Los sectores industriales actuales se inspiran y se benefician de la información, las técnicas y los métodos que surgen de los laboratorios científicos,¹⁹ especialmente en los sectores actuales de la alta tecnología, en los que las investigaciones sobre ciencias básicas son las más influyentes.²⁰ Los laboratorios de I+D de empresas como Apple, Google, Huawei, Samsung o Tencent producen resultados científicos que contribuyen directamente a sus innovaciones.

En ocasiones, asignar más recursos a la innovación en un ámbito se traduce en más resultados en otro. La historia está llena de situaciones en las que una innovación lograda en un sector se extiende a otros. Un ejemplo es la máquina de vapor, que inicialmente se había creado para extraer agua de las minas inundadas y se convirtió en la principal fuente de energía para el transporte ferroviario y marítimo. La demanda de neumáticos de caucho por parte de los fabricantes de vehículos provocó que algunas empresas químicas dedicadas a la fabricación de caucho sintético dejaran sus actividades puramente químicas y se trasladaran al sector automovilístico, del que acabaron por formar parte.

La revolución de las TIC ha favorecido a los sectores basados en tecnologías audiovisuales, biológicas o de gestión. Durante mucho tiempo, los sectores audiovisuales avanzaron al paso de las innovaciones relativas a objetivos o a técnicas analógicas de grabación. Ahora bien, en los tres últimos decenios las tecnologías digitales de grabación y transmisión de contenido han transformado todo el sector. Lo mismo puede decirse del aumento en la utilización de las tecnologías digitales –tanto equipos físicos como programas informáticos– en los laboratorios de las industrias farmacéuticas y los departamentos de gestión de todos los sectores. En los ámbitos de las tecnologías audiovisuales, los métodos de TI para la gestión y, en menor medida, el análisis de materiales biológicos, la proporción de solicitudes de patente ha aumentado. Los datos sobre patentes que respaldan esta afirmación señalan que ese aumento comenzó con la adopción de las TIC, como se muestra en el gráfico 1.5.

Los conocimientos adquiridos por las industrias mediante la experiencia práctica o las cadenas de suministro determinan en gran medida la dirección de la innovación.²¹ Esto es especialmente notable en relación con los sectores de la máquina herramienta y de los bienes de equipo, que fabrican bienes de producción para otras industrias.²² Para estas, la manera más directa de ser más innovadoras y productivas es incorporar herramientas y equipamiento innovadores. Por ejemplo, las innovaciones continuas en herramientas de tornos y molinos han tenido repercusiones importantes en la productividad de la mayoría de las industrias manufactureras. Igualmente, la innovación en las técnicas de

pasteurización y los equipos de refrigeración ha sido esencial para el sector alimentario.

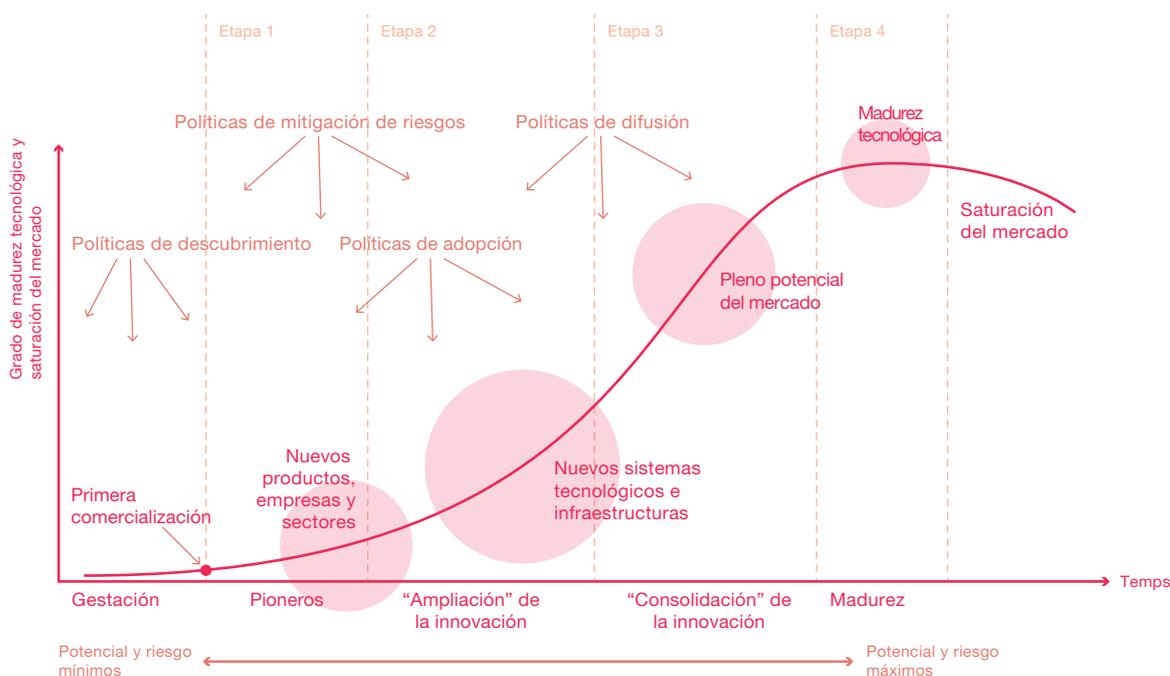
El flujo de conocimientos e innovación entre los distintos ámbitos y sectores proporcionan a los científicos, los ingenieros y los empresarios un fuerte incentivo para introducirse en otros ámbitos e industrias mediante la aplicación de las tecnologías con las que se han familiarizado. A diferencia de “consolidar” la dirección de la innovación, “ampliarla” significa que los recursos de I+D e innovación pueden reubicarse de manera eficiente en áreas con menos competencia y más oportunidades. Este mecanismo de ampliación expande una tecnología determinada a otros ámbitos y sectores, redistribuye la asignación de recursos financieros y humanos y, finalmente, influye en la dirección de la innovación.

Distinta madurez, rendimientos diferentes

Si logran tener éxito, las innovaciones –es decir, nuevos productos o procesos– avanzan en una sucesión de mejoras consecutivas a una tecnología de base que se acumulan con el tiempo. A esta acumulación de mejoras contribuyen distintas partes interesadas. Durante la gestación de una innovación, solo algunos empresarios y unas pocas empresas participan en la elaboración y la mejora de la tecnología. A un ritmo pausado, la acumulación de mejoras se acelera en varias etapas, a lo largo de las cuales intervienen sucesivamente inventores, innovadores e imitadores que se incorporan al ámbito o sector en cuestión (véase el gráfico 1.5).

Las partes interesadas y los riesgos de la innovación varían entre la gestación y la madurez de una innovación exitosa

Gráfico 1.5. Resumen conceptual de la evolución de un ecosistema de innovación en relación con una nueva tecnología



Fuente: Adaptado de Pérez (2003)

La entrada de empresarios y empresas innovadoras aporta a las empresas existentes nuevas ideas y conocimientos especializados en materia tecnológica. También amplía el alcance tecnológico e industrial de las empresas que utilizan la innovación. En un espectro cada vez más variado de empresas se lleva a cabo una reflexión acerca de cómo mejorar la tecnología para lograr un fin concreto. A menudo, estas nuevas empresas acaban sustituyendo a muchas de las existentes. En este proceso denominado “destrucción creativa”, las empresas más innovadoras, es decir, más creativas y con mayor éxito comercial, ocupan el lugar de las preexistentes.²³

Las empresas recién llegadas y las antiguas que perduran determinan la dirección de la innovación en el sector correspondiente durante esta etapa y las siguientes. En las etapas posteriores se consolida una trayectoria tecnológica que para entonces ya estaba bien definida, principalmente por medio de la innovación y la imitación progresivas.

El ecosistema de innovación reacciona de forma diferente en las distintas etapas. Es probable que la madurez de una tecnología determinada influya simplemente en cómo será la innovación progresiva y, en consecuencia, quién dictará su dirección. De este modo,

las empresas más pequeñas y jóvenes determinan la dirección de la innovación en la etapa temprana de ampliación, mientras que las empresas asentadas que dominan el mercado la determinan durante la etapa de consolidación.²⁴

¿Qué motivos explican lo anterior? Existen diferencias notables entre los rendimientos privados y sociales durante los períodos sucesivos de mejoras tecnológicas. La perspectiva de rendimientos privados es muy diferente no solo en cada fase en un sector o ámbito determinados, sino también entre sectores que están en una etapa distinta de madurez tecnológica.

Durante la gestación de una nueva tecnología, los rendimientos que la innovación reporta al sector privado suelen ser reducidos, debido a que el riesgo de fracaso es elevado en comparación con las tecnologías existentes contra las que se compite. En cambio, los rendimientos sociales de desarrollar por completo una tecnología en gestación son potencialmente elevados. Independientemente de todos los costos, sociales o para el sector privado, de las empresas pioneras que no sobreviven (por ejemplo, quiebra, pérdida de empleos, etc.), a largo plazo la sociedad en su conjunto puede, a pesar de ello, beneficiarse de la madurez y la consecuente consolidación de una nueva tecnología y de la creación de empresas más eficientes. En los Estados Unidos de América, en la primera década del siglo XX, cientos de pequeños fabricantes privados de automóviles produjeron una variedad equivalente de modelos de coches. Solo unos pocos decenios después, los consumidores podían elegir entre menos modelos, pero más fiables, producidos a gran escala por unas pocas empresas. Estas versiones maduras de automóviles se convirtieron en el medio de transporte habitual en muchos sectores, lo cual benefició a toda la sociedad, y no solo a los productores y los consumidores de automóviles.

Nadie sabe exactamente si aparecerá una tecnología ni cuándo lo hará. En ocasiones, es posible que exista una previsión inicial de rendimientos para el sector privado, pero finalmente resulte que materializarlos es más difícil o lleva más tiempo de lo esperado. Por ejemplo, la tecnología de paneles solares se utilizó en la industria espacial mucho antes de que fuera una opción comercialmente viable para generar energía doméstica (véase el capítulo 3).²⁶

A medida que crece la perspectiva de obtener rendimientos para el sector privado, aumentan las probabilidades de que otras empresas entren en un mercado específico, lo cual acentúa la influencia que las empresas privadas ejercen sobre la dirección de la innovación. En etapas posteriores, los rendimientos para el sector privado a menudo son lo bastante elevados para ofrecer un incentivo suficiente para que otras empresas adopten las tecnologías ya maduras y entren en el mercado.

Crisis sistémicas y tecnologías de uso general

En ocasiones se producen crisis “sistémicas” graves e inesperadas, como las provocadas por tecnologías revolucionarias, epidemias o guerras, que alteran las preferencias y prioridades de las partes interesadas en los ecosistemas de innovación. Esas crisis pueden generar cambios extensos que afectan a múltiples partes interesadas y modifican la manera en la que se perciben los rendimientos, para el sector privado y sociales, de la innovación.

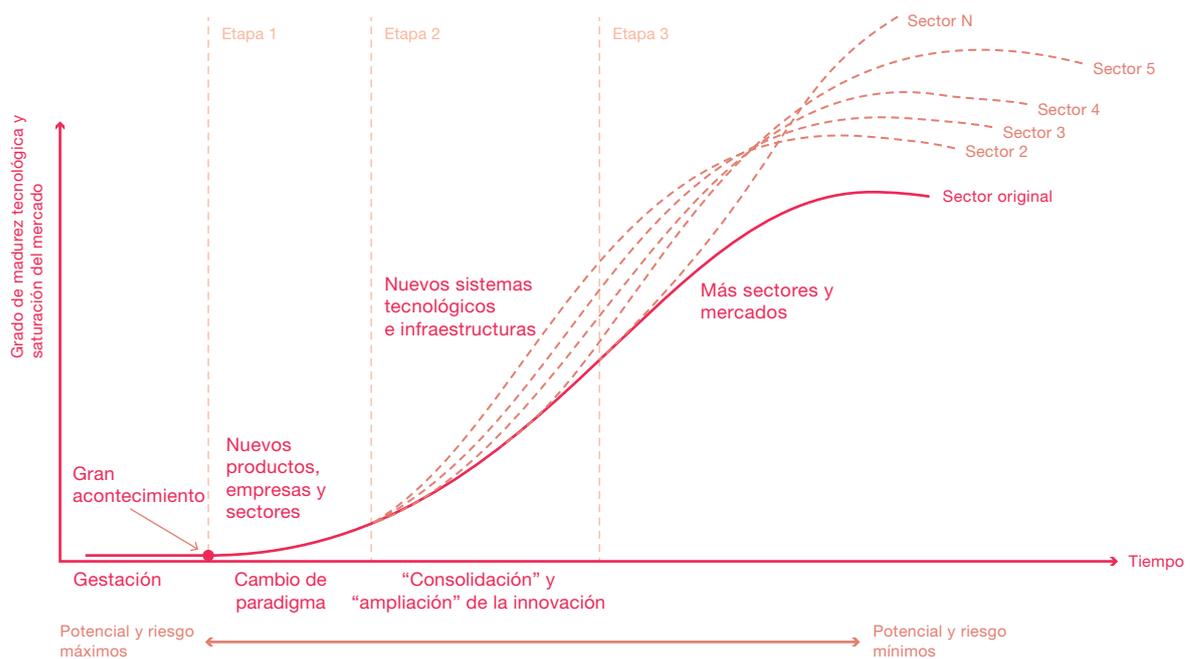
De forma muy ocasional, aparece una nueva tecnología revolucionaria que se adopta de manera generalizada en una amplia variedad de sectores y, al mismo tiempo, se encuentra en continuo desarrollo técnico en el ámbito o sector en el que se originó. Entonces, se convierte en lo que la literatura económica denomina “tecnología de uso general”, lo que significa que puede consolidar y ampliar su trayectoria de manera simultánea. Ello posibilita las innovaciones subsiguientes en cualquier parte y, al mismo tiempo, permite ir más allá de las fronteras tecnológicas en ese sector determinado (véase el gráfico 1.6). Las nuevas empresas y los emprendedores adoptan progresivamente esa tecnología de uso general y, de este modo, desencadenan largos períodos de mejoras tecnológicas acumuladas.²⁷

Los distintos momentos de la historia tienden a caracterizarse por el desarrollo y la difusión de colecciones específicas de tecnologías en gran medida complementarias. Estas tienen en común que penetran en una amplia variedad de sectores y se utilizan en la formación de profesionales en ámbitos nuevos de la ingeniería y otras ciencias aplicadas. Los ejemplos históricos mencionados de innovaciones revolucionarias como la energía de vapor, la electricidad, el motor de combustión interna y, más recientemente, las TIC han tenido un efecto multiplicador en los distintos ámbitos científicos y tecnológicos, así como en sectores y mercados.

Las tecnologías de uso general reconfiguran las principales colecciones de tecnologías de un modo distinto a cualquier otra tecnología.²⁸ Su utilización generalizada crea competencia por los recursos financieros y humanos entre el sector que las produce y los que las aplican. Esto sucede, por ejemplo, en relación con las TIC empleadas en otros ámbitos, como el de la biotecnología. Las tecnologías relativas a los métodos de TI para la gestión y al análisis de materiales biológicos son sectores que aplican TIC y que han seguido creciendo de forma paralela al aumento de la proporción de patentes en los sectores de la comunicación digital y la tecnología informática, que son el origen de las TIC. La demanda elevada de mano de obra cualificada en TI (especialistas) y de recursos semiconductores (por ejemplo, lingotes, obleas, circuitos integrados, etc.) es un ejemplo de la tensión competitiva que puede surgir entre varios sectores y que podría resolverse

Las tecnologías de uso general “consolidan” y “amplían” la dirección de la innovación

Gráfico 1.6. Resumen conceptual de los ciclos de las tecnologías de uso general



Fuente: Adaptado de Pérez (2003)

mediante programas de educación e inversión en nuevas capacidades de producción.

Las crisis sistémicas transforman la base tecnológica principal de un ecosistema de innovación existente. Aunque la mayor parte de esas crisis tienen su origen en un momento de “eureka” (por ejemplo, el descubrimiento de la penicilina, el transistor o el sistema CRISPR-Cas9 para la modificación genética²⁹), concluir plenamente un hallazgo innovador lleva años de divulgación de conocimientos y mejoras progresivas acumuladas.

Las crisis sistémicas no tienen necesariamente un carácter científico o tecnológico.³⁰ Ingentes inversiones nacionales en I+D pueden cambiar de objetivo en circunstancias especiales, como la pandemia de COVID-19 o la Segunda Guerra Mundial. Ello muestra que el rumbo de la actividad tecnológica puede ser muy sensible a las necesidades económicas y a los imperativos no económicos.

Algunas crisis surgen de desastres naturales, como terremotos, tsunamis, incendios forestales, inundaciones o pandemias. Estos pueden alterar las preferencias de una sociedad en relación con la importancia de una tecnología ambiental o agrícola concreta. También pueden producirse amenazas a los intereses nacionales de un país, como conflictos armados, perturbaciones geopolíticas o guerras comerciales. Estas amenazas a los intereses nacionales pueden influir en las prioridades de la sociedad relativas a la defensa o, en particular, a la exploración espacial, por ejemplo. Otros fenómenos sociales, como las creencias

culturales y religiosas, también pueden cambiar el rumbo de la innovación si, por ejemplo, varía la consideración de lo aceptado moralmente en la innovación médica. Asimismo, acontecimientos económicos como las crisis financieras o la inflación pueden transformar las prioridades relativas a la innovación de modo que se prefieran las tecnologías que permiten ahorrar costos o las innovaciones relacionadas con la asistencia social.

Normalmente, se hace un llamamiento a los gobiernos y los encargados de formular las políticas para que den respuesta a esos acontecimientos que alteran las prioridades. Desde hace mucho tiempo, los gobiernos redirigen la investigación hacia áreas específicas, como la salud, la agricultura y, por supuesto, la defensa. Las guerras son uno de los ejemplos más evidentes de crisis sistémica que modifica las preferencias relativas a la innovación en un ecosistema. En reacción a la Segunda Guerra Mundial, el Gobierno de los Estados Unidos de América movilizó el ecosistema de innovación para crear tecnologías con fines militares. Sin embargo, esto también fomentó el desarrollo de las tecnologías médicas y de comunicación, que tuvieron aplicaciones inmediatas en los mercados no militares (véase el capítulo 2).³¹

1.4 ¿Cómo pueden las políticas determinar la dirección de la innovación?

Los recursos económicos son limitados y no se asignan de manera equitativa a todos los ámbitos o sectores científicos. La asignación de fondos y personas con talento

rige el modo en el que los ecosistemas determinan la dirección de la innovación.³² En definitiva, el rumbo de la innovación lo determina quien decide a qué oportunidad tecnológica se le da prioridad en la asignación de recursos. Las políticas de innovación se formulan con el objetivo de definir esas prioridades.

En primer lugar, en esta sección se definen las categorías en sentido amplio de los instrumentos de política disponibles para fomentar la innovación. Posteriormente, se examina la idea de la neutralidad de las políticas de innovación para, a continuación, analizar la función que desempeñan los instrumentos de política cuyo objetivo es estimular la demanda de determinadas tecnologías.

Instrumentos de política para promover la innovación

Los encargados de formular las políticas que deseen determinar la dirección de la innovación tienen a su disposición todo un conjunto de instrumentos de política. En este apartado se examinan esos instrumentos en un sentido amplio y se relacionan con todo el ciclo de innovación, desde la gestación a la madurez, que figura en el gráfico 1.5. Dichos instrumentos consisten

**En definitiva,
el rumbo de la
innovación lo
determina quien
decide a qué
oportunidad
tecnológica se
le da prioridad
en la asignación
de recursos.
Las políticas de
innovación se
formulan con el
objetivo de definir
esas prioridades**

en políticas de innovación concebidas para fomentar los descubrimientos, mitigar los riesgos y estimular la adopción y difusión tempranas.

En definitiva, el rumbo de la innovación lo determina quien decide a qué oportunidad tecnológica se le da prioridad en la asignación de recursos. Las políticas de innovación se formulan con el objetivo de definir esas prioridades.

Políticas para fomentar los descubrimientos

Las políticas dirigidas a estimular el descubrimiento científico y tecnológico son más necesarias cuanto mayores sean la incertidumbre y el riesgo relativos a la innovación. El ejemplo más representativo de esas políticas es la investigación financiada con fondos públicos que se lleva a cabo en las instituciones académicas y en las instituciones públicas de investigación. Mediante este instrumento de política, los gobiernos pueden ejercer una gran influencia en la dirección que puede tomar la innovación, puesto que se da prioridad a un ámbito respecto de otros. Ahora bien, los gobiernos tal vez tengan que financiar programas durante años para que se materialice un descubrimiento prometedor desde el punto de vista comercial. Antes de asignar los recursos, debe haber un diálogo entre los encargados de la formulación de políticas y la comunidad científica acerca de qué dirección tomar.

Un método más directo es efectuar adquisiciones públicas. Por ejemplo, los gobiernos realizan directamente adquisiciones ordinarias que estimulan el desarrollo de las tecnologías de defensa y aeroespaciales. Los contratos pueden adjudicarse de distintas maneras, según se desee fomentar la competencia o la colaboración entre las distintas partes interesadas del mundo de la innovación. Ejemplo de ello son los consorcios que reúnen a empresas especializadas y universidades para ofrecer el producto innovador que se demanda. Ahora bien, este instrumento requiere que los gobiernos cuenten con conocimientos técnicos exhaustivos sobre el bien específico y tengan la capacidad no solo de gestionar contratos de complejidad técnica, sino también de supervisar su cumplimiento.

Los premios académicos (como los Premios Nobel en las distintas disciplinas científicas) o las patentes también pueden ser instrumentos indirectos de estimular los descubrimientos. Sin embargo, los premios y las patentes apenas influyen en la dirección de la innovación, puesto que se conceden después de que haya logrado el descubrimiento o la invención.

Los instrumentos de política que se mencionan a continuación también pueden impulsar el descubrimiento, si bien sus efectos suelen percibirse en mayor medida en las últimas etapas del ciclo de innovación.

Políticas de mitigación de los riesgos y de adopción temprana de la tecnología innovadora

En teoría, las políticas de mitigación de riesgos pueden emplearse en todo el ciclo de innovación, pero es probable que sean más eficaces en las primeras etapas de desarrollo tras el descubrimiento inicial. Las subvenciones a actividades de I+D, los préstamos en condiciones favorables –es decir, sin intereses o con tasas de interés inferiores a las del mercado– y los incentivos fiscales a la I+D son tres instrumentos característicos de políticas de mitigación de riesgos. Un ejemplo son las subvenciones a las actividades de I+D que se concedieron a las empresas dedicadas a elaborar las vacunas contra la COVID-19 (véase el capítulo 3).

Las políticas de adopción temprana de la tecnología innovadora no solo tienen como objetivo reducir los riesgos que conlleva la innovación, sino también aumentar el número de empresas que utilizan la tecnología. Aunque una tecnología sea lo bastante prometedora para que se utilice (es decir, adoptarla conlleva un riesgo reducido), su costo actual puede obstaculizar la adopción. En las etapas iniciales, las nuevas tecnologías suelen producirse a pequeña escala y de forma ineficiente, lo cual aumenta los costos y limita las posibles ganancias de quienes las hayan adoptado. Los gobiernos pueden intervenir para impulsar la producción de una tecnología determinada y, por este medio, garantizar que se alcance una escala suficiente para que la producción sea rentable. Por ejemplo, durante la Segunda Guerra Mundial, el Gobierno de los Estados Unidos de América concedió las subvenciones y los préstamos en condiciones favorables que fueron necesarios para aumentar la capacidad de producción de penicilina de las empresas farmacéuticas reticentes a invertir en un medicamento antibiótico que en aquel momento era innovador (véase el capítulo 2). Las subvenciones, los préstamos en condiciones favorables y los incentivos fiscales también son ejemplos de políticas para la adopción que pueden aplicarse a los proveedores para alentar directamente a las empresas a que utilicen una nueva tecnología para sus actividades de I+D o a modo de equipo.

Por otra parte, los gobiernos pueden escoger entre reducir los riesgos o incentivar la adopción indirectamente mediante el estímulo del consumo de los productos o servicios en los que está incorporada la innovación deseada. Esas políticas de adopción indirectas consisten en subvenciones públicas a los productores, para mantener los precios minoristas bajos, y a los consumidores, para alentarlos a comprar. Un ejemplo del primer tipo de subvenciones es la ayuda que concede el Gobierno de Alemania a los productores de paneles solares. En cuanto a las subvenciones al consumo, muchos gobiernos las han empleado para fomentar la adquisición de vehículos eléctricos al hacerlos más atractivos para los consumidores (véase el capítulo 3).

Los gobiernos también pueden influir en la adopción de las tecnologías mediante la financiación pública de programas educativos en las universidades y las instituciones de formación técnica. Estos programas tienen efectos sobre los costos y la disponibilidad de la mano de obra cualificada y fomentan el emprendimiento en los ámbitos seleccionados. Las escuelas de TI en California proporcionaron a las industrias de Silicon Valley informáticos e ingenieros cualificados y menos costosos. Esas escuelas también estimularon a una generación de emprendedores en Silicon Valley, que dio origen a muchos de los gigantes tecnológicos actuales.

Además, los instrumentos de PI también pueden formar parte de una estrategia de política para promover la adopción de una tecnología. Las patentes permiten desvincular el descubrimiento de una innovación de su adopción. No es necesario que los inventores creen una empresa para aplicar la tecnología, sino que otras personas pueden hacerlo en su lugar. Ello proporciona un mecanismo de especialización de la innovación, según el cual los inventores pueden seguir dedicándose a lo que mejor se les da y vender sus invenciones a empresarios comerciales con más experiencia en este ámbito.

Los gobiernos cuentan con distintos instrumentos de política con los que estimular los descubrimientos y, de manera complementaria, fomentar la adopción de las innovaciones mediante regímenes de concesión de licencias a varios posibles usuarios. Por ejemplo, las instituciones públicas de investigación pueden, en virtud de contratos públicos, aplicar distintos regímenes de concesión de licencias a sectores o empresas específicos con el fin de reducir el costo de adoptar una innovación para esos destinatarios. La agencia espacial estadounidense, la NASA, propone a sus distintos contratistas condiciones y conjuntos de tasas de licencia diferentes. Por ejemplo, a menudo concede licencias gratuitas a las empresas emergentes nacidas de los proyectos de la agencia.

Las marcas y los diseños industriales también pueden funcionar como incentivos a la adopción de una innovación, puesto que brindan a quienes la adopten en primer lugar la oportunidad de monetizar esa ventaja respecto de otros.³³ Esto se ha observado en el sector de la telefonía inteligente, donde empresas como Apple o Samsung se basan en la solidez de los diseños y el reconocimiento de la imagen de marca, así como en la innovación de los productos, para asegurar su posición en el mercado.

Políticas de difusión

Se entiende que una tecnología se ha difundido satisfactoriamente cuando la mayor parte de las empresas la han adoptado como una tecnología normalizada en el sector. En el caso de las tecnologías de uso

general, también se comienzan a utilizar en varios otros sectores. Los gobiernos pueden influir en la difusión mediante la formación de la mano de obra, subvenciones, préstamos, créditos fiscales y adquisiciones directas. Normalmente, la difusión de tecnologías que han resultado ser eficaces en el sector original debería conllevar menos riesgos y unos costos de adopción más reducidos. Por este motivo, se espera que las partes interesadas del sector privado contribuyan con más recursos financieros.

¿Las políticas de innovación pueden ser neutrales respecto del mercado?

Gran parte del debate relativo a la innovación se ha basado en la idea económica de que la producción de conocimientos tiene los rasgos de un bien público, puesto que puede reproducirse fácilmente sin muchos costos.³⁴ Sin embargo, esto significa que algunas personas y empresas privadas pueden tener dificultades para obtener rendimientos de las innovaciones, debido a que otros se benefician de los conocimientos adquiridos sin haber pagado los costos de generar esos conocimientos.

Por lo tanto, las empresas que innovan probablemente beneficiarán al ecosistema general de innovación mediante los conocimientos que crean y que se difunden a otras empresas, entre ellas, proveedores y competidores. Ahora bien, las empresas innovadoras deberán hacer frente a una mayor competencia en la que los rivales, que no han sufragado el costo de elaborar una nueva tecnología de éxito, pueden llegar a ocupar su lugar en el mercado. Los economistas a menudo consideran que esa situación elimina el incentivo económico de invertir en innovación y genera por ello lo que se denomina un “fallo de mercado”, que requiere la intervención correctora del Estado.

El argumento de que deben corregirse los fallos de mercado relacionados con la innovación ha dominado gran parte de la investigación y el debate sobre las políticas de innovación. Sin embargo, en las conversaciones sobre políticas económicas apenas se han formulado propuestas sobre el destino que debe darse a las inversiones en innovación. Otros economistas afirman lo contrario y sostienen que la dirección de la innovación no ha de ser objeto de políticas públicas, las cuales, en su opinión, han de ser neutrales respecto del mercado.³⁵

Las políticas de innovación neutrales en cuanto al mercado tienen como objetivo estimular la producción de nuevos conocimientos y tecnologías sin distorsionar la estructura actual del mercado, es decir, sin alterar el *statu quo* del mercado ni favorecer a un participante en detrimento de otro.³⁶ Por ejemplo, para lograr la neutralidad, muchas políticas de innovación prestan apoyo a la investigación científica y tecnológica en las

universidades y las instituciones públicas de investigación y, al mismo tiempo, se abstienen de ayudar a las empresas privadas. Así, se dejan en manos de las empresas las decisiones relativas a qué oportunidades tecnológicas se han de aprovechar. Sin embargo, en la práctica es muy difícil que una política pública sea completamente neutral respecto del mercado. Los cambios en la dirección de la investigación científica y tecnológica inducidos por las políticas pueden acabar provocando un cambio en la dirección de la innovación.

Además, las políticas de innovación “neutrales” respecto del mercado padecen de una parcialidad tácita. Las empresas privadas, libres de limitaciones, probablemente seleccionarán los proyectos de innovación que proporcionan un rendimiento financiero más rápido y seguro. Como se ha mencionado, no es probable que el mercado escoja tecnologías novedosas y posiblemente disruptivas, que conllevan una mayor incertidumbre y más riesgos, sino que optará por tecnologías consolidadas y maduras. Las políticas de innovación neutrales que dan libertad al mercado para decidir la dirección de la innovación seguramente reducirán la diversidad y el horizonte de las inversiones en una medida poco deseable desde el punto de vista social. Esta tendencia favorece la innovación subsiguiente en las vías tecnológicas que ya son rentables y se desalienta en las nuevas vías, lo cual refuerza una dinámica conservadora.³⁷

En conclusión, la neutralidad de las políticas de innovación parece ser incompatible con la práctica general. Varias de las economías más industrializadas (por ejemplo, los Estados Unidos de América, los países de Europa Occidental, el Japón o China) tradicionalmente han destinado gran parte de la inversión pública en I+D a crear o estimular tecnologías específicas y sus mercados complementarios en ámbitos como la defensa nacional, la salud pública o la agricultura.³⁸ En el mismo sentido, en los últimos años los encargados de formular las políticas han tendido a prestar apoyo financiero directo a los sectores intensivos de I+D que son cruciales para la seguridad nacional, como los semiconductores.³⁹

En consecuencia, los estudiosos cada vez están más de acuerdo en que las políticas de innovación deben crear o configurar los mercados, en lugar de limitarse a tratar de remediar los fallos.⁴⁰ No obstante, la información poco fiable –como los datos inexactos, incompletos o erróneos– y el grado elevado de incertidumbre en torno a la innovación limitan inevitablemente la medida en la que los gobiernos pueden encaminar la dirección de la innovación de manera que beneficie a la sociedad.

Políticas centradas en la demanda y orientadas a una misión

Las políticas de innovación centradas en la demanda a menudo se denominan, en sentido amplio, políticas

“orientadas a una misión”. Sus rasgos principales son la adopción centralizada de decisiones y la concentración de los recursos en un objetivo específico. Dicho de otro modo, la dirección de la innovación la determina el gobierno, que constituye la fuente principal de demanda de la innovación en cuestión.⁴¹

Algunos ejemplos arquetípicos de programas orientados a una misión concreta son la investigación médica efectuada por la Oficina de Investigación y Desarrollo Científico (OSRD) de los Estados Unidos de América, creada para movilizar a científicos civiles durante la Segunda Guerra Mundial, y el programa de la NASA para llegar a la Luna. Estos estudios de casos, que se examinan en mayor detalle en el capítulo 2, demuestran que las iniciativas públicas dirigidas y orientadas hacia una misión pueden facilitar y encaminar la innovación hacia soluciones tecnológicas específicas. Esas iniciativas tenían objetivos claros y asequibles, eran de alcance nacional y abarcaban un subconjunto de sectores. Por ejemplo, la función que desempeñó el Gobierno en el desarrollo de las tecnologías necesarias para la industria espacial fue sufragar los costos extremadamente elevados de crear las tecnologías que precisaba la exploración espacial. Estos costos se debían a que era necesario contar con más tiempo y con una producción a gran escala para desarrollar tecnologías sin precedentes que tenían una aplicación específica y sumamente especializada.

Algunos economistas señalan que los instrumentos de política centrados en la demanda también pueden servir para dar respuesta a los desafíos sociales, medioambientales y económicos más importantes y complejos a los que se enfrenta el mundo, que en ocasiones se denominan “los grandes desafíos”.⁴³ Se consideran importantes y complejos porque están extremadamente interrelacionados y extendidos y, sobre todo, porque requieren medidas urgentes y coordinadas.⁴⁴ Por ejemplo, los problemas medioambientales mundiales no pueden resolverse sin una coordinación internacional, intersectorial y multidisciplinaria. Los gobiernos nacionales deben ponerse de acuerdo en soluciones mundiales, las empresas deben establecer normas y buenas prácticas a lo largo de cada una de las cadenas de valor globales y especialistas científicos y tecnológicos de distintos ámbitos –como la energía, la biodiversidad o la meteorología– deben colaborar para generar soluciones novedosas (véase el capítulo 3).

En cierta medida, hacer frente a los grandes desafíos requiere algo más que políticas públicas.⁴⁵ Varios economistas expertos en innovación sostienen que las políticas orientadas a una misión no serán suficientes.⁴⁶ Se necesitan iniciativas amplias y con una buena financiación que pongan en marcha políticas públicas como uno de los elementos de la solución y que, al mismo tiempo, reconozcan la necesidad de la acción coordinada de las distintas partes interesadas en el ecosistema de la innovación.⁴⁷ Ello requiere, inevitablemente, la participación de

empresas privadas, universidades e institutos de investigación, así como de la sociedad civil, las comunidades internacionales y las personas para hacer realidad el cambio a escala mundial. Para que todos estos elementos funcionen conjuntamente, es necesario uno o varios mecanismos que ayuden a coordinar las prioridades y la asignación de recursos de las distintas iniciativas.

Desafortunadamente, todavía no existe un ejemplo íntegro de un gran desafío que se haya superado exclusivamente mediante políticas de innovación. Sin embargo, los avances logrados mediante la cooperación y los acuerdos internacionales subrayan la necesidad de una acción coordinada a escala mundial para dar respuesta a esos desafíos. Por ejemplo, la Convención Marco de las Naciones Unidas sobre el Cambio Climático (CMNUCC) o las iniciativas relativas a los combustibles aeronáuticos sostenibles de la Organización de Aviación Civil Internacional (OACI) ponen de manifiesto la voluntad internacional de cumplir los objetivos de reducir las emisiones de carbono y hacer frente al cambio climático.

1.5 Las economías en desarrollo y la dirección de la innovación

Como en cualquier otra economía, podría decirse que la innovación en los países en desarrollo de ingreso bajo y mediano se canaliza en dos vías principales, a saber, adaptar las tecnologías extranjeras o crear tecnologías a escala local. Ahora bien, las economías en desarrollo, especialmente las de los Estados más pobres, no son como las economías desarrolladas, puesto que los problemas que deben resolverse mediante la innovación son sustancialmente diferentes. La capacidad de las economías en desarrollo para absorber o generar soluciones tecnológicas con las que satisfacer sus necesidades socioeconómicas concretas depende de los ecosistemas locales de innovación y del grado de conexión que tengan con las redes mundiales de innovación.⁴⁸

En algunos casos, es posible que las partes interesadas locales, participen o no en el mercado, carezcan de la capacidad innovadora suficiente para detectar, asimilar o aprender de las nuevas tecnologías elaboradas en otros lugares, o para generar innovaciones por sí mismas. Si el poder adquisitivo es bajo, puede resultarles difícil acceder a la innovación mundial para satisfacer sus necesidades. Es posible que la infraestructura básica (como las carreteras, la electricidad o la atención médica) o las instituciones importantes (como un sector financiero eficaz) sean deficientes o inexistentes, lo cual tiene como consecuencia que algunas tecnologías extranjeras sean menos apropiadas. De ser así, la innovación se caracterizará por la baja cualificación de la mano de obra, por producir generalmente a pequeña escala y por estar dirigida a comunidades o regiones específicas.

La adaptación de tecnologías extranjeras a las necesidades locales no debería considerarse innovación de baja calidad, puesto que puede generar innovaciones igualmente valiosas para las economías industrializadas. Estas situaciones suelen calificarse de “innovación inversa”

En otros casos, las partes interesadas del ecosistema de innovación pueden contar con distintos grados de capacidad innovadora. Estas economías, normalmente de ingreso mediano, pueden aprovechar sus capacidades científicas, el capital tecnológico y la mano de obra cualificada para reducir su disparidad tecnológica respecto de las economías más avanzadas. Ese es el caso del sector de las TI en las numerosas economías de Asia Oriental (como se examinará en el capítulo 2) que lograron integrarse plenamente en la economía mundial y devenir participantes centrales y activos en las cadenas de valor internacionales.⁴⁹ Algunas de ellas, como China o la India, se han convertido en fuentes de innovación en varios sectores de la tecnología y participan activamente en las redes mundiales de innovación, a las que contribuyen con conocimientos científicos, tecnología y productos y equipos avanzados tecnológicamente.⁵⁰

Adaptación de las tecnologías extranjeras

La adaptación de las tecnologías extranjeras para satisfacer las necesidades de los mercados de las economías en desarrollo tiende a ser un proceso gradual en el que se añaden escasas mejoras a la tecnología original. Ahora bien, no todas las tecnologías extranjeras pueden trasladarse a las economías en desarrollo, puesto que las necesidades de esas economías no pueden atenderse con cualquier innovación procedente de otro lugar. Las innovaciones de las economías sumamente innovadoras –que se encuentran principalmente en Europa Occidental, América del Norte y Asia Oriental– están concebidas para los países cuyas industrias tienen una gran densidad de capital debido a los salarios relativamente más elevados, que cuentan con mano de obra cualificada para aplicar y poner en marcha las innovaciones, que disponen de procesos de producción en serie con infraestructuras de alta calidad y cuyos consumidores tienen un poder adquisitivo más elevado.⁵¹ Por el contrario, como se ha señalado, en las economías en desarrollo, la mano de obra suele ser relativamente abundante pero menos cualificada, existe una segmentación en función de diversas necesidades, las infraestructuras son deficientes o inexistentes y el poder adquisitivo de los consumidores es relativamente reducido. Estas diferencias a menudo hacen que las tecnologías de vanguardia sean menos apropiadas para atender las necesidades de las economías más pobres.⁵²

Un ejemplo de ello es la adopción de la automatización en el sector de las prendas de vestir en Sudáfrica. Las empresas de moda textil sudafricanas se han transformado hacia una producción con gran densidad de capital, pero la adopción de las tecnologías de automatización ha sido limitada. Algunos de los factores que lo explican son el acceso limitado al capital, la inconstancia del volumen de los pedidos, la falta de apoyo del Gobierno, unos márgenes reducidos y la baja rentabilidad de la industria en general.⁵³

La innovación de vanguardia, aun adecuada a las necesidades locales, a menudo es costosa. Adaptar las tecnologías de vanguardia para hacerlas asequibles requiere un grado elevado de conocimientos técnicos. Dado que el precio es una de las principales restricciones, la mayor parte de la actividad innovadora está dirigida a reducir los costos, ya sea mediante la utilización de recursos más baratos, como materias primas locales que sustituyan a las originales, o la eliminación de los aspectos de la tecnología que no sean estrictamente necesarios. Los economistas a menudo denominan estas innovaciones como “frugales”, “*jugaad*” (término hindi que se refiere a la innovación no convencional) o “en la base de la pirámide”, puesto que se producen teniendo en cuenta las necesidades y el poder adquisitivo locales.⁵⁴

Un ejemplo de innovación “frugal” es Transsion, un fabricante y proveedor de servicios de telefonía móvil con sede en Shenzhen, que adaptó teléfonos móviles específicamente al mercado africano. Transsion, que es relativamente desconocido en China, ocupa el 40% del mercado de telefonía móvil en África y ha superado a marcas como Apple, Huawei, Nokia, Samsung y Xiaomi, especialmente en el segmento de mercado de menor costo.⁵⁵ La empresa china detectó que muchos consumidores africanos demandaban teléfonos móviles a bajo costo que, sin embargo, contaran con una tecnología que solucionara problemas como la debilidad de la señal y la cobertura de red o la inestabilidad del acceso a la electricidad, entre otros. Transsion produjo teléfonos a un precio asequible con una recepción de señal eficaz, una batería de larga duración y aplicaciones concebidas específicamente para satisfacer las preferencias del mercado local.⁵⁶

Por ejemplo, las tecnologías agrícolas del Brasil, economía emergente conocida por su producción e innovación agrícolas, podrían considerarse interesantes y adecuadas para otras economías en desarrollo. Varios encargados de formular políticas y grupos de interés industriales en África trataron de introducir en el mercado africano unos tractores brasileños que se adaptan especialmente bien a extensas zonas de cultivo y unas sencillas sembradoras manuales, denominadas “matracas”, que pueden utilizarse en terreno sin cultivar y en zonas agrícolas más pequeñas y aisladas. La adopción de los tractores en África no se logró, pues hacía necesaria una labor considerable de mantenimiento y formación, pero las matracas tuvieron una acogida relativamente buena. Estos resultados se deben en parte a los rasgos de la agricultura africana, caracterizada por pequeñas zonas agrícolas que funcionan con una mano de obra poco cualificada y abundante y en las que se utilizan materiales, recursos y conocimientos locales.⁵⁷

Las soluciones deben tener en cuenta la perspectiva local

Los ejemplos mencionados tienen en común la idea de que los problemas locales requieren soluciones afines a las condiciones específicas, que a menudo implican la falta de acceso a la financiación, una infraestructura de energía, transporte y telecomunicaciones insuficiente y la escasez de mano de obra cualificada, entre otros aspectos. Para que la innovación de las economías en desarrollo satisfaga las necesidades locales, también debe involucrar a los participantes externos al mercado, como las instituciones de investigación, los organismos públicos y las organizaciones no gubernamentales (ONG).

Un ejemplo de innovación de éxito adaptada a las necesidades sociales locales es M-PESA, un servicio de pago móvil creado en Kenya y dirigido a las

personas que carecen de acceso a un sistema bancario y que suelen operar en sectores informales de la economía.⁵⁸ M-PESA aprovecha la tecnología del servicio de mensajes cortos (SMS) mediante el teléfono móvil para garantizar la transferencia segura de efectivo desde casi cualquier teléfono móvil. La rápida adopción de M-PESA se debió a que la innovación estaba adaptada a las demandas de un mercado local deseoso de acceder a un sistema financiero.⁵⁹ La alianza público-privada –en la que participaron una empresa extranjera, una sucursal local, una institución local de microfinanzas y un banco consolidado de África Oriental– se estableció en consulta con actores internos y externos al mercado, como instituciones microfinancieras, ONG y autoridades reguladoras del sector. La Autoridad de Comunicaciones de Kenya, el órgano regulador de las TIC del país, fue indispensable para legitimar la plataforma y promover su difusión.⁶⁰

Las economías en desarrollo a menudo también carecen de instituciones que faciliten y apoyen la innovación, de modo que esas actividades se llevan a cabo en el sector informal.⁶¹ Sin embargo, es probable que las innovaciones generadas en este sector tengan pocas posibilidades de prosperar. Estas innovaciones con frecuencia no están documentadas en artículos científicos, boletines técnicos o patentes, por lo que resulta extremadamente difícil reproducirlas y difundirlas. A menudo, no llaman la atención de los encargados de la formulación de políticas, puesto que no se reflejan en los indicadores de innovación habituales, como la inversión en I+D, las cifras relativas a la mano de obra cualificada, las publicaciones científicas o las patentes. Por este motivo, ese tipo de innovaciones locales suelen denominarse “fuera del radar”.⁶²

Cuando la empresa estadounidense GE adaptó sus dispositivos de electrocardiogramas y ultrasonidos a las necesidades de los consumidores rurales de la India y China, confió a sus filiales en estos países la labor de rediseñar las tecnologías para reducir su tamaño y su precio. El resultado tuvo tal éxito que GE acabó vendiendo esas unidades adaptadas también a consumidores de economías de ingresos altos.⁶³ Otros ejemplos son el automóvil Dacia Logan de Renault, que fue concebido para los mercados de ingreso bajo de Europa Oriental y posteriormente fue popular en Francia; o los fideos deshidratados Maggi de Nestlé, bajos en grasas y con un precio asequible, que inicialmente se produjeron para comercializarlos en zonas rurales del Pakistán y la India y finalmente encontraron un mercado sólido en Nueva Zelanda y Australia.

1.6 La dirección de la innovación en el futuro

No cabe duda de que la innovación puede contribuir a resolver o, al menos, mitigar los grandes desafíos

mundiales, a saber, el cambio climático, las desigualdades, la necesidad de producir más alimentos o un mejor acceso al agua, la salud y la educación. Sin embargo, limitarse a aumentar el nivel general de cambio tecnológico puede no ser suficiente. Varios de esos desafíos atañen a bienes públicos, por lo que es improbable que el sector privado consiga aportar recursos de innovación suficientes para resolverlos. Algunos de ellos, especialmente el cambio climático, no pueden afrontarse solo con la labor pública y privada de economías aisladas. Todos los países se beneficiarían de las políticas de innovación relativas al cambio climático, pero ninguno de ellos podría aprovecharlas si solo se aplican en algunos países. Podría decirse que esta lógica también se aplica a la inversión en innovación relativa a cualquiera de los grandes desafíos. Por lo tanto, parecería que existen motivos de peso para adoptar políticas de innovación internacionales y multilaterales que establezcan orientaciones clave.⁶⁴

Los indicios crecientes de que las tecnologías digitales se convertirán en otra tecnología de uso general son motivos de esperanza. Es probable que la Cuarta Revolución Industrial, basada en esas tecnologías, produzca todo tipo de mejoras de la productividad en una amplia variedad de sectores. Pueden resultar un trampolín para la oferta pública y privada de soluciones técnicas a los desafíos relacionados con la salud, la educación y el cambio climático. También es probable que transformen la manera en la que los gobiernos formulan las políticas de innovación y prestan servicios públicos en esos ámbitos. Estas cuestiones se examinan con más detenimiento en el capítulo 3.

Notas

- 1 Acemoğlu (2011) sostiene que es probable que el progreso tecnológico sea poco diverso, porque las empresas no invierten en tecnologías alternativas, aunque puedan preverse buenos resultados. Según sus investigaciones teóricas, si bien las empresas utilizan las innovaciones para obtener ganancias inmediatas, no internalizan completamente los beneficios futuros de esas innovaciones alternativas, puesto que es probable que las innovaciones que han alcanzado la madurez actualmente se consoliden antes de que sea rentable comercializar las tecnologías alternativas.
- 2 Las funciones que los gobiernos desempeñan en esos sectores varía notablemente de unos a otros. Para consultar un análisis, véase Nelson (2011).
- 3 Véase Agarwal y Gaule (2021).
- 4 Cohen y Levinthal (1990) examinan la dualidad de la I+D de las empresas privadas desde el punto de vista de los recursos de innovación y la capacidad de absorción. Crepon *et al.* (1998) analizan empíricamente la manera en la que se relacionan entre sí la capacidad de absorción, los recursos y resultados de I+D y la productividad.
- 5 Se trata de marcos ampliamente compatibles referidos a un entorno complejo de partes interesadas relativas a la innovación. Edquist (1997), Carlsson *et al.* (2002), Bikar *et al.* (2006), Godin (2006) y Sharif (2006) ofrecen estudios exhaustivos de la bibliografía relativa a los entornos de la innovación. Los principales marcos conceptuales son “el sistema nacional de innovación” (Pavitt, 1984; Freeman, 1995; Lundvall, 1988; Nelson, 1993); “la economía basada en los conocimientos” (David y Foray, 1995; Foray, 2018); “la producción de nuevos conocimientos” (Gibbons *et al.*, 1994); y “el modelo de triple hélice” (Leydesdorff y Etzkowitz, 1996). Los creadores de las teorías del “sistema nacional de innovación” y de la “economía basada en los conocimientos” hallaron aspectos comunes (Foray y Lundvall, 1996) cuando dejaron a un lado el tema del conocimiento tácito y codificado (Cowan *et al.*, 2000; Cowan y Foray, 1997; Johnson *et al.*, 2002). Los defensores del marco de la triple hélice plantean elementos analíticos similares a los propuestos por las teorías del “sistema nacional de innovación” y de la “economía basada en los conocimientos”, pero defienden una postura más general (Etzkowitz y Leydesdorff, 2000; Leydesdorff y Meyer, 2006).
- 6 En el Informe mundial sobre la PI de 2019 (OMPI, 2019, capítulo 1) se resume la interacción entre la geografía y la innovación. Los marcos conceptuales del “sistema regional de innovación” (Cooke, 1992) y el “sistema local de innovación” (Breschi y Lissoni, 2001) reformulan la idea del entorno de innovación vinculado geográficamente a entidades subnacionales.
- 7 Los marcos conceptuales sobre el “sistema sectorial de innovación” (Breschi y Malerba, 1997; Malerba, 2002) y el “sistema de innovación tecnológica” (Carlsson, 1997; Carlsson y Jacobsson, 1997) reconceptualizan el entorno de innovación en los mismos sectores, incluidas las cadenas de suministro internacionales, o en bloques de tecnologías relacionadas. En el mismo sentido, en el Informe mundial sobre la PI de 2017 (OMPI, 2017) se estudia el comportamiento de los activos intangibles en las cadenas globales de valor.
- 8 En el Informe mundial sobre la PI de 2019, publicado por la OMPI, se describen las redes mundiales de innovación que conectan los núcleos de innovación más prolíficos del mundo (OMPI, 2019, capítulo 1). Varios marcos conceptuales incluyen de manera explícita el aspecto internacional de la innovación (véase Amable *et al.*, 1997; Barnard y Chaminade, 2012; Carlsson, 2006).
- 9 Kline y Rosenberg (1986) definen este fenómeno como “conocimiento acumulado”, que comprende la “ciencia conocida” y los “conocimientos almacenados”. Este término se refiere al “conocimiento que ya está disponible en la mente de las personas de la organización que lleva a cabo la labor”. Schmookler (1962a) va más allá y afirma que “el ‘estado de los conocimientos’ no solo abarca la ciencia y la tecnología, sino también muchos otros aspectos del pensamiento, como el arte o la religión, que afectan a la percepción humana del universo material”.
- 10 Hedy Lamarr, además de ser una conocida actriz de Hollywood, fue la creadora de varias invenciones. En 1941, presentó una solicitud de patente para una de ellas con el nombre de Hedy Kiesler Markey y la obtuvo en 1942.
- 11 Acemoğlu (2010) hace referencia a las afirmaciones de Habakkuk sobre la relación de la escasez de la mano de obra con las tecnologías que sustitúan al trabajo humano en el siglo XIX. Tanto Hicks como Marx defendían la idea de que el costo del trabajo y el capital – el precio de los factores de producción– puede promover la innovación (Antonelli, 2009; Dosi y Nelson, 2010).
- 12 Véase Scherer (1982) y Schmookler (1962a, 1962b).
- 13 Véase Schmookler (1962a).
- 14 Véase el análisis de Nelson (2011).
- 15 Véase también Sampat (2015) y el Informe mundial sobre la PI de 2015 (OMPI, 2015, capítulo 2).
- 16 Griliches (1980) observó una relación estrecha y constante

- entre la inversión en I+D de las empresas estadounidenses y varios indicadores de la productividad empresarial. Griliches y Lichtenberg (1984) obtuvieron resultados similares respecto de 193 sectores en los Estados Unidos de América.
- 17 La medición de la dirección de la ciencia por medio de extensas colecciones digitales de publicaciones científicas, como Microsoft Academic Graph, plantea los inconvenientes habituales. En particular, esas colecciones no son perfectas en cuanto a la representación geográfica, de idiomas o de ámbitos científicos. En relación con estos últimos, cabe mencionar que, hace 200 años, la distinción entre los ámbitos científicos no existía en la misma medida que actualmente. En el siglo XIX, las publicaciones de los estudiosos mezclaban alegremente conceptos de las ciencias duras y las humanidades modernas. Por lo tanto, las cifras deben interpretarse como tendencias generales y deben aplicarse con precaución.
- 18 Véase el capítulo 3 del Informe mundial sobre la PI de 2015 (OMPI, 2015) para consultar una introducción a la innovación de la impresión tridimensional.
- 19 Véanse los comentarios de Kuhn sobre Siegel (1962) y Multhauf (1959) sobre la proximidad creciente y sin precedentes entre la ciencia y la tecnología a partir de la década de los sesenta del siglo XIX.
- 20 Véase Dosi y Nelson (2010), Kline y Rosenberg (1986) y Pavitt (1984).
- 21 Véase Pavitt (1984).
- 22 Carlsson (1984) documenta la repercusión más importante de este tipo de sectores en la productividad de la industria manufacturera.
- 23 Joseph Schumpeter (1942) analiza extensamente el concepto de “destrucción creativa”.
- 24 El proceso de ampliación se corresponde con las primeras ideas de Joseph Schumpeter sobre los nuevos sectores compuestos por empresas más pequeñas y jóvenes. Por ejemplo, en los orígenes del sector de la automoción, el sector incipiente se nutría de talleres pequeños, casi artesanales, que competían para comercializar sus productos. Las ideas posteriores de Schumpeter sobre esos mismos sectores se corresponden con la etapa de la consolidación, en la que el sector de la automoción, por ejemplo, se caracteriza por contar con grandes empresas asentadas. Malerba se refiere a esos dos procesos con los nombres de “Schumpeter Mark I” y “Schumpeter Mark II” (véase Breschi y Malerba, 1997; Malerba y Orsenigo, 1993).
- 25 “La producción de nuevos conocimientos acarrea externalidades importantes que son difíciles de asumir, lo cual genera una gran disparidad entre los rendimientos sociales y los privados de las actividades inventivas. Esta disparidad, unida al riesgo elevado y la amenaza de peligros morales en la financiación de la I+D, tiene como resultado una insuficiencia sistémica de la inversión en I+D, unos índices de innovación por debajo de lo deseable socialmente y, en consecuencia, un crecimiento económico lento” (Trajtenberg, 2011).
- 26 En el capítulo 2 se trata específicamente la cuestión de los paneles solares en la industria espacial.
- 27 Pérez (2003) estudia cómo, desde la perspectiva económica, las trayectorias tecnológicas adoptan la forma de ciclos largos de Kondrátiev de tecnología acumulada.
- 28 Véase Bresnahan (2010) para consultar un análisis más detallado de las tecnologías de uso general.
- 29 Las investigaciones de Jennifer Doudna y Emmanuelle Charpentier sobre las secuencias de ADN de tipo CRISPR (repeticiones palindrómicas cortas agrupadas y regularmente interespaciadas) y la proteína Cas9 proporcionaron una base para la modificación genética que revolucionó la investigación biológica. Ambas científicas ganaron el Premio Nobel de Química de 2020 por su descubrimiento.
- 30 Schumpeter (1939) estudió la complejidad de los factores externos que afectan a la interacción entre los sistemas industriales y los ciclos económicos. Sus ideas van en consonancia con las crisis sistémicas mencionadas en esta sección.
- 31 Véase Gross y Sampat (2020).
- 32 La cantidad y calidad de los recursos de I+D invertidos en distintas actividades son aspectos del funcionamiento de un sistema de innovación. Un aspecto inherente al concepto de sistema de innovación es la manera en que los recursos destinados a impulsar los conocimientos especializados se organizan y se regulan (Nelson, 2011).
- 33 Este mecanismo de estimular la adopción de la tecnología es, sin duda, mucho menos directo y cierto. Para consultar un análisis, véase el Informe mundial sobre la propiedad intelectual de 2013 (OMPI, 2013).
- 34 Véase Arrow (1962) y el Informe mundial sobre la propiedad intelectual de 2011 (OMPI, 2011) en relación con la innovación en cuanto bien público.
- 35 “En el ámbito de la investigación y el debate sobre políticas, en los tres últimos decenios ha predominado el argumento de que los fallos del mercado deben corregirse para alcanzar el nivel deseado de inversión, pero esta no debe ser una cuestión de políticas. Es mucho más conveniente dejar el asunto a merced del mágico caos “del relojero ciego”. Toda idea de política de especialización o iniciativa estratégica vertical es un tabú en los debates sobre políticas, especialmente en los grandes foros internacionales de formulación de políticas y en la Comisión Europea” (Foray, 2011).

- 36 Ergas (1987) considera que esas políticas neutrales en cuanto al mercado están “orientadas a la difusión”, en contraste con las políticas “orientadas a una misión”, que se analizan en el apartado siguiente.
- 37 Ergas (1987: 1).
- 38 Véase Foray (2011), Foray *et al.* (2012), Mowery y Nelson (1996) y Ergas (1987).
- 39 Véase, por ejemplo, la Ley de Innovación y Competencia de 2021 (USICA) y la Ley de Creación de Incentivos Eficaces para Producir Semiconductores (CHIPS) para América de 2021, aprobadas en los Estados Unidos de América.
- 40 Mazzucato (2018) propone un conjunto de herramientas alternativo para formular políticas de innovación, en el que los programas orientados a una misión configuran los mercados existentes y crean conjuntamente mercados complementarios, en lugar de repararlos.
- 41 Ergas (1987).
- 42 Hertzfeld (2002).
- 43 Mazzucato (2018) extrae lecciones de las políticas de innovación orientadas a una misión. Edquist y sus coautores (Edquist y Hommen, 1999; Edquist y Zabala-Iturriagoitia, 2012) señalan la importancia de la contratación pública en el ámbito tecnológico. Acemoğlu (2011) predice que los encargados de formular políticas que optimicen los rendimientos sociales de la innovación deberán fomentar una cartera de innovaciones más diversa para generar un índice de crecimiento mayor que el reparto del mercado.
- 44 Véase Mazzucato (2018).
- 45 En distintas corrientes del pensamiento económico se llega a una conclusión similar al tratar cuestiones relativas a los grandes desafíos, pero esas corrientes difieren en el modo de dar respuesta al asunto. Véase Aiginger y Rodrik (2020), Rodrik y Stantcheva (2021), Mowery (2012), Schot y Steinmueller (2018) y Mazzucato (2018).
- 46 Véase Diercks *et al.* (2019), Mowery (2012) y Mowery *et al.* (2010), así como Schot y Steinmueller (2018).
- 47 Véase Mowery *et al.* (2010).
- 48 Archibugi y sus coautores (1999) defienden que los conceptos de los sistemas nacionales de innovación y la globalización de las actividades innovadoras deben analizarse conjuntamente, aunque se hayan desarrollado por separado. Véase también OMPI (2019).
- 49 Véase también OMPI (2017) y Kaplinsky (2011) para obtener una idea sobre cómo lograron esas economías desarrolladas construir capacidades de absorción e innovación.
- 50 Véase Fu y Gong (2011), Kaplinsky (2011) y OMPI (2019, capítulo 2).
- 51 Véase Eckaus (1987), Emmanuel (1982), Kaplinsky (2011) y Stewart (1978).
- 52 Véase Acemoğlu *et al.* (2002) y Stewart (1978).
- 53 Parschau y Hauge (2020).
- 54 Los conceptos de innovación “frugal”, “*jugaad*” y “en la base de la pirámide” tienden a superponerse. Ahora bien, existen diferencias sutiles en las definiciones de estos tipos de innovación. Los académicos denominan “frugales” las innovaciones producidas con recursos locales y menos costosos, definen como “*jugaad*” las innovaciones que satisfacen las necesidades más básicas de la población pobre y consideran “en la base de la pirámide” las innovaciones adaptadas al menor poder adquisitivo de las economías en desarrollo. La innovación “*jugaad*” es, en esencia, innovación “frugal” con una dimensión social. Véase Fu (2020), Kaplinsky (2011) y Martin (2016) para obtener más información.
- 55 Véase IDC (2020) y Deck (2020).
- 56 Qumer y Purkayastha (2019).
- 57 Véase Cabral *et al.* (2016).
- 58 El nombre M-PESA es una combinación de la palabra suajili “pesa”, que significa dinero en efectivo, y la “m” de móvil.
- 59 M-PESA se puso en marcha en 2007 en Kenya. En un mes, se habían suscrito más de 20.000 clientes. Dos años después, el servicio tenía 8 millones de suscriptores con una red de 13.000 agentes. Durante esos dos años, se transfirieron por medio de la plataforma más de 3.700 millones de USD.
- 60 La iniciativa que dio origen a M-PESA procede del programa de responsabilidad social corporativa de la empresa de telecomunicaciones británica Vodafone, dirigida a contribuir al logro de los Objetivos de Desarrollo Sostenible, de las Naciones Unidas. La financiación inicial de la iniciativa procedió de una subvención pública para desafíos del Financing Deepening Challenge Fund (Fondo de Consolidación Financiera para Desafíos) del Ministerio de Desarrollo Internacional (DFID) del Gobierno del Reino Unido. Vodafone contribuyó con 1 millón de libras esterlinas en concepto de costos de personal. Véase Hughes y Lonie (2007) y Onsongo (2019) para obtener más información.
- 61 La OIT (2018) estima que el sector informal representa más del 85% del empleo en África.
- 62 Fu (2020).
- 63 Véase Chandran Govindaraju y Wong (2011) y Immelt *et al.* (2009).
- 64 Véase Foray (2011).

Referencias

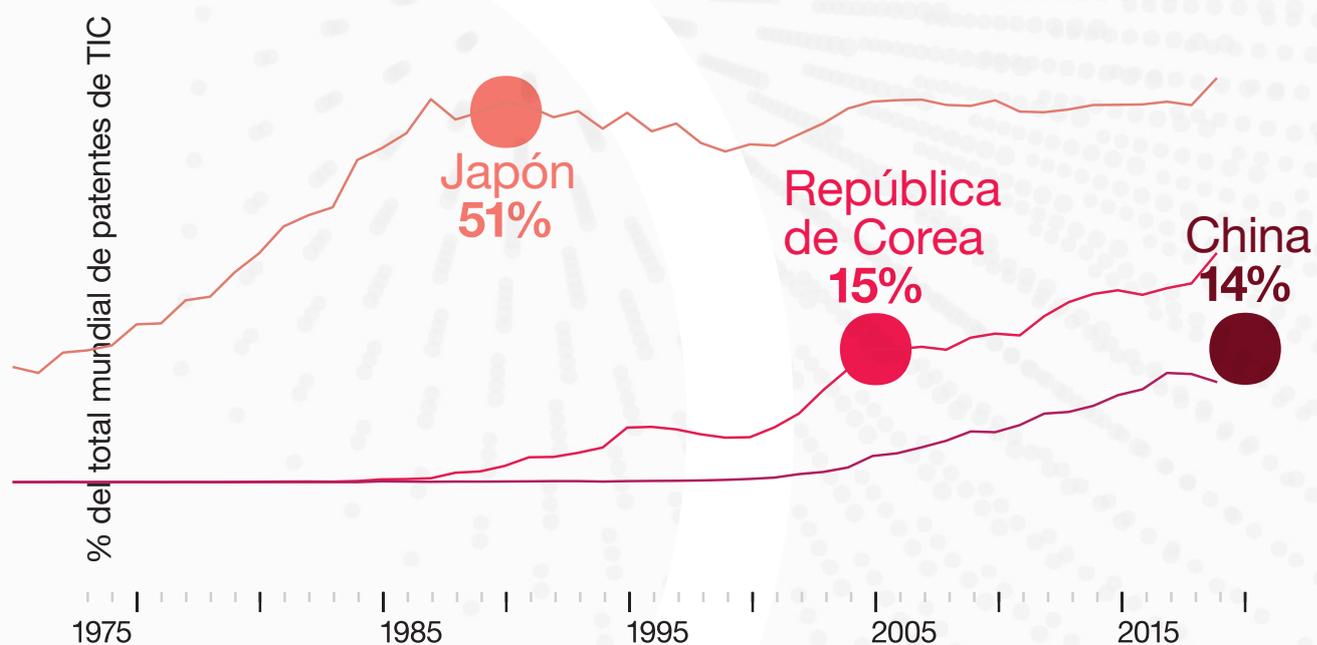
- Acemoglu, D. (2010). When does labor scarcity encourage innovation? *Journal of Political Economy*, 118(6), 1037–1078. DOI: <https://doi.org/10.1086/658160>.
- Acemoglu, D., Aghion, P. and F. Zilibotti (2002). Distance to frontier, selection, and economic growth. Working Paper no. w9066. National Bureau of Economic Research. DOI: <https://doi.org/10.3386/w9066>.
- Acemoglu, D. (2011). Diversity and technological progress. In Lerner, J. and S. Stern (eds), *The Rate and Direction of Inventive Activity Revisited*. University of Chicago Press, 319–356. Available at: <http://www.nber.org/chapters/c12358>.
- Agarwal, R. and P. Gaule (2021). What Drives Innovation? Lessons from COVID-19 R&D. IZA Discussion Paper, no. 14069. Institute of Labor Economics (IZA). Available at: <https://ftp.iza.org/dp14079.pdf>.
- Aiginger, K. and D. Rodrik (2020). Rebirth of industrial policy and an agenda for the twenty-first century. *Journal of Industry, Competition and Trade*, 20, 189–207. DOI: <https://doi.org/10/ghbtcc>.
- Amable, B., R. Barré and R. Boyer (1997). *Les systèmes d'innovation à l'ère de la globalisation*. Paris: Economica.
- Antonelli, C. (2009). The economics of innovation: From the classical legacies to the economics of complexity. *Economics of Innovation and New Technology*, 18(7), 611–646.
- Archibugi, D., Howells, J. and J. Michie (1999). Innovation systems in a global economy. *Technology Analysis & Strategic Management*, 11(4), 527–539. <https://doi.org/10/cfhphh>
- Arrow, K.J. (1962). The economic implications of learning by doing. *The Review of Economic Studies*, 29(3), 155–173. DOI: <https://doi.org/10.2307/2295952>.
- Barnard, H. and C. Chaminade (2012). *Global Innovation Networks: Towards a taxonomy*. CIRCLE Working Papers, no. 2011/04. Lund University.
- Bikar, V., H. Capron and M. Cincera (2006). An integrated evaluation scheme of innovation systems from an institutional perspective. In DULBEA Working Papers, no. 06-09.RS. ULB – Université Libre de Bruxelles. Available at: <https://ideas.repec.org/p/dul/wpaper/06-09rs.html>.
- Breschi, S. and F. Lissoni (2001). Knowledge spillovers and local innovation systems: A critical survey. *Industrial and Corporate Change*, 10(4), 975–1005.
- Breschi, S. and F. Malerba (1997). Sectoral innovation systems: Technological regimes, Schumpeterian dynamics, and spatial boundaries. In Edquist, C. (ed.), *Systems of Innovation: Technologies, Institutions and Organizations*, 130–156.
- Bresnahan, T. (2010). General purpose technologies. In Hall, B.H. and N. Rosenberg (eds), *Handbook of the Economics of Innovation: Volume 2*. North-Holland, 761–791. Available at: <http://www.sciencedirect.com/science/article/pii/S0169721810020022>.
- Cabral, L., A. Favareto, L. Mukwereza and K. Amanor (2016). Brazil's agricultural politics in Africa: More food international and the disputed meanings of “family farming”. *World Development*, 81, 47–60. DOI: <https://doi.org/10/gmprks>.
- Carlsson, B. (1984). The development and use of machine tools in historical perspective. *Journal of Economic Behavior & Organization*, 5(1), 91–114. DOI: [https://doi.org/10.1016/0167-2681\(84\)90028-3](https://doi.org/10.1016/0167-2681(84)90028-3).
- Carlsson, B. (1997). *Technological Systems and Industrial Dynamics*. Springer.
- Carlsson, B. (2006). Internationalization of innovation systems: A survey of the literature. *Research Policy*, 35(1), 56–67.
- Carlsson, B. and S. Jacobsson (1997). Diversity creation and technological systems: A technology policy perspective. In Edquist, C. (ed.), *Systems of Innovation: Technologies, Institutions and Organizations*, 266–294.
- Carlsson, B., S. Jacobsson, M. Holmen and A. Rickne (2002). Innovation systems: Analytical and methodological issues. *Research Policy*, 31(2), 233–245.
- Chandran Govindaraju, V.G.R. and C.-Y. Wong (2011). Patenting activities by developing countries: The case of Malaysia. *World Patent Information*, 33(1), 51–57. DOI: <https://doi.org/10.1016/j.wpi.2010.01.001>.
- Cohen, W.M. and D.A. Levinthal (1990). Absorptive capacity: A new perspective on learning and innovation. *Administrative Science Quarterly*, 35(1), 128–152.
- Cooke, P. (1992). Regional innovation systems: Competitive regulation in the new Europe. *Geoforum*, 23, 365–365.
- Cowan, R. and D. Foray (1997). The economics of codification and the diffusion of knowledge. *Industrial and Corporate Change*, 6(3), 595–622.
- Cowan, R., P.A. David and D. Foray (2000). The explicit economics of knowledge codification and tacitness. *Industrial and Corporate Change*, 9(2), 211–253.
- Crepon, B., E. Duguet and J. Mairesse (1998). Research, innovation and productivity: An econometric analysis at the firm level. *Economics of Innovation and New Technology*, 7(2), 115. DOI: <https://doi.org/10.1080/10438599800000031>. *World Intellectual Property Report 2022*

- David, P.A. and D. Foray (1995). Assessing and expanding the science and technology knowledge base. *STI Review*, 16. Paris: OECD.
- Deck, A. (2020, June 23). Africa's phone phenom: Your guide to Transsion. Rest of World. Available at: <https://restofworld.org/2020/transsion-from-china-to-africa>.
- Diercks, G., H. Larsen and F. Steward (2019). Transformative innovation policy: Addressing variety in an emerging policy paradigm – ScienceDirect. *Research Policy*, 48(4), 880–894. DOI: <https://doi.org/10/ggpsk2>.
- Dosi, G. and R.R. Nelson (2010). Technical change and industrial dynamics as evolutionary processes. In Hall, B.H. and N. Rosenberg (eds), *Handbook of the Economics of Innovation: Volume 1*. North-Holland, 51–127. DOI: [https://doi.org/10.1016/S0169-7218\(10\)01003-8](https://doi.org/10.1016/S0169-7218(10)01003-8).
- Eckaus, R.S. (1987). Appropriate technology: The movement has only a few clothes on. *Issues in Science and Technology*, 3(2), 62–71.
- Edquist, C. (ed.) (1997). *Systems of Innovation*. Routledge.
- Edquist, C. and L. Hommen (1999). Systems of innovation: Theory and policy for the demand side. *Technology in Society*, 21(1), 63–79. DOI: [https://doi.org/10.1016/S0160-791X\(98\)00037-2](https://doi.org/10.1016/S0160-791X(98)00037-2).
- Edquist, C. and J.M. Zabala-Iturrigagoitia (2012). Public procurement for innovation as mission-oriented innovation policy. *Research Policy*, 41(10), 1757–1769. DOI: <https://doi.org/10.1016/j.respol.2012.04.022>.
- Emmanuel, A. (1982). *Appropriate or Underdeveloped Technology?* J. Wiley.
- Ergas, H. (1987). Does technology policy matter. In Guile, B.R. and H. Brooks (eds), *Technology and Global Industry: Companies and Nations in the World Economy*. Washington D.C.: National Academies Press, 191–245.
- Etzkowitz, H. and L. Leydesdorff (2000). The dynamics of innovation: From National Systems and “Mode 2” to a Triple Helix of university–industry–government relations. *Research Policy*, 29(2), 109–123.
- Fink, C. (2022). Calculating private and social returns to COVID-19 vaccine innovation. WIPO Economic Research Working Paper No. 68. World Intellectual Property Organization.
- Foray, D. (2011). Why is it so difficult to translate innovation economics into useful and applicable policy prescriptions? In Lerner, J. and S. Stern (eds), *The Rate and Direction of Inventive Activity Revisited*. University of Chicago Press, 673–678. Available at: <http://www.nber.org/chapters/c12378>.
- Foray, D. (2018). *L'économie de la connaissance: Vol. 3^e éd. La Découverte*. DOI: <https://doi.org/10.3917/dec.foray.2018.01>.
- Foray, D. and B.A. Lundvall (1996). The Knowledge-Based Economy: From the Economics of Knowledge to the Learning Economy. In Neef, D. et al. (eds), *The Economic Impact of Knowledge*, 115–122.
- Foray, D., D.C. Mowery and R.R. Nelson (2012). Public R&D and social challenges: What lessons from mission R&D programs? *Research Policy*, 41(10), 1697–1702.
- Freeman, C. (1995). The ‘national system of innovation’ in historical perspective. *Cambridge Journal of Economics*, 19(1), 5–24. <https://doi.org/10/gdk2vr>.
- Fu, X. (2020). *Innovation under the radar: The nature and sources of innovation in Africa*. Cambridge: Cambridge University Press. DOI:10.1017/9781316869482.
- Fu, X. and Y. Gong (2011). Indigenous and foreign innovation efforts and drivers of technological upgrading: Evidence from China – ScienceDirect. *World Development*, 39(7), 1213–1225.
- Gibbons, M.R., C. Limoges, H. Nowotny, S. Schwartzman, P. Scott and M. Trow (1994). *The New Production of Knowledge: The Dynamics of Science and Research in Contemporary Societies*. Sage Publications Ltd.
- Godin, B. (2006). The knowledge-based economy: Conceptual framework or buzzword? *Journal of Technology Transfer*, 31(1), 17–30.
- Griliches, Z. (1980). Returns to research and development expenditures in the private sector. In Kendrick, J.W. and B.N. Vaccara (eds), *New Developments in Productivity Measurement and Analysis*. University of Chicago Press (for the National Bureau of Economic Research), 419–462. Available at: <http://www.nber.org/books/kend80-1>.
- Griliches, Z. and F. Lichtenberg (1984). R&D and productivity growth at the industry level: Is there still a relationship? In Griliches, Z. (ed.), *R&D, Patents, and Productivity*. University of Chicago Press, 465–502. Available at: <http://www.nber.org/chapters/c10062>.
- Gross, D.P. and B.N. Sampat (2020). *Organizing Crisis Innovation: Lessons from World War II*. Working Paper no. 27909. Cambridge, MA: National Bureau of Economic Research. DOI: <https://doi.org/10.3386/w27909>.
- Hertzfeld, H.R. (2002). Measuring the economic returns from successful NASA life sciences technology transfers. *The Journal of Technology Transfer*, 27(4), 311–320. DOI: <https://doi.org/10.1023/A:1020207506064>. *World Intellectual Property Report 2022*
- Hughes, N. and S. Lonie (2007). M-PESA: Mobile money for the “unbanked” turning cellphones into 24-Hour tellers in Kenya. *Innovations: Technology, Governance, Globalization*, 2(1–2), 63–81. DOI: <https://doi.org/10/bknh2f>.

- IDC (2020, March 16). East Africa smartphone market records strong growth but global COVID-19 outbreak looks set to hit shipments. IDC: The Premier Global Market Intelligence Company. Available at: <https://www.idc.com/getdoc.jsp?containerId=prMETA46136320>.
- ILO (2018). Women and men in the informal economy: A statistical picture, third edition. Geneva: ILO. Available at www.ilo.org/global/publications/books/WCMS_626831/lang--en/index.htm.
- Immelt, J.R., V. Govindarajan and C. Trimble (2009, October 1). How GE is disrupting itself. Harvard Business Review. Available at: <https://hbr.org/2009/10/how-ge-is-disrupting-itself>.
- Johnson, B., E. Lorenz and B.A. Lundvall (2002). Why all this fuss about codified and tacit knowledge? *Industrial and Corporate Change*, 11(2), 245–262.
- Kaplinsky, R. (2011). Schumacher meets Schumpeter: Appropriate technology below the radar. *Research Policy*, 40(2), 193–203. DOI: <https://doi.org/10/c2nv7k>.
- Kline, S.J. and N. Rosenberg (1986). An overview of innovation. In Landau, R. and N. Rosenberg (eds), *The Positive Sum Strategy: Harnessing Technology for Economic Growth*. National Academies Press, 275–305.
- Leydesdorff, L. and H. Etzkowitz (1996). Emergence of a Triple Helix of university–industry–government relations. *Science and Public Policy*, 23(5), 279–286.
- Leydesdorff, L. and M. Meyer (2006). Triple Helix indicators of knowledge-based innovation systems: Introduction to the special issue. *Research Policy*, 35(10), 1441–1449.
- Lundvall, B. A. (1988). Innovation as an interactive process: From user-producer interaction to the national system of innovation. In G. Dosi (ed.), *Technical Change and Economic Theory*, 349–369.
- Malerba, F. (2002). Sectoral systems of innovation and production. *Research Policy*, 31(2), 247–264.
- Malerba, F. and L. Orsenigo (1993). Technological regimes and firm behavior. *Industrial and Corporate Change*, 2(1), 45–71. DOI: <https://doi.org/10.1093/icc/2.1.45>.
- Martin, A. (2016). Concepts of Innovation for and from Emerging Markets. Working Papers of the Chair for Innovation Research and Technology Management, no. 9-1. Technische Universität Chemnitz. Available at: https://www.econstor.eu/bitstream/10419/148341/1/872926_32X.pdf.
- Mazzucato, M. (2018). Mission-oriented innovation policies: Challenges and opportunities. *Industrial and Corporate Change*, 27(5), 803–815. DOI: <https://doi.org/10.1093/icc/dty034>.
- Mowery, D.C. (2012). Defense-related R&D as a model for “Grand Challenges” technology policies. *Research Policy*, 41(10), 1703–1715. DOI: <https://doi.org/10/ghs2vv>.
- Mowery, D.C. and R.R. Nelson (1996). The US corporation and technical progress. In Kaysen, C. (ed.), *The American Corporation Today*. Cambridge, MA: MIT Press, 187–241.
- Mowery, D.C., R.R. Nelson and B.R. Martin (2010). Technology policy and global warming: Why new policy models are needed (or why putting new wine in old bottles won’t work). *Research Policy*, 39(8), 1011–1023. DOI: <https://doi.org/10/bqjwxh>.
- Multhauf, R.P. (1959). The scientist and the “improver” of technology. *Technology and Culture*, 1(1), 38–47. DOI: <https://doi.org/10.2307/3100786>.
- Nelson, R. R. (1993). *National Innovation Systems: A Comparative Analysis*. USA: Oxford University Press.
- Nelson, R.R. (2011). The Moon and the Ghetto revisited. *Science and Public Policy*, 38(9), 681–690. DOI: <https://doi.org/10.3152/030234211X13070021633404>.
- Onsongo, E. (2019). Institutional entrepreneurship and social innovation at the base of the pyramid: The case of M-Pesa in Kenya. *Industry and Innovation*, 26(4), 369–390. DOI: <https://doi.org/10/gf3w94>.
- Parschau, C. and J. Hauge (2020). Is automation stealing manufacturing jobs? Evidence from South Africa’s apparel industry. *Geoforum*, 115, 120–131. DOI: <https://doi.org/10/ghc4c7>.
- Pavitt, K. (1984). Sectoral patterns of technical change: Towards a taxonomy and a theory. *Research Policy*, 13(6), 343–373. DOI: [https://doi.org/10.1016/0048-7333\(84\)90018-0](https://doi.org/10.1016/0048-7333(84)90018-0).
- Perez, C. (2003). *Technological Revolutions and Financial Capital*. Edward Elgar Publishing.
- Qumer, S.M. and D. Purkayastha (2019). TECNO Mobile’s growth strategies in Africa. In CEIBS Case Center (ed.), *China-Focused Cases: Selected Winners of the CEIBS Global Case Contest*. Springer Singapore, 81–102. World Intellectual Property Report 2022
- Rodrik, D. and S. Stantcheva (2021). *Economic Inequality and Insecurity: Policies for an Inclusive Economy*. Report prepared for Commission Chaired by Olivier Blanchard and Jean Tirole on Major Future Economic Challenges, Republic of France. Available at: <https://drodrik.scholar.harvard.edu/publications/economic-inequality-and-insecurity-policies-inclusive-economy>.
- Sampat, B.N. (2015). Intellectual property rights and pharmaceuticals: The case of antibiotics. WIPO Economic Research Working Papers No. 26. World Intellectual Property Organization – Economics and Statistics Division. Available at: <https://ideas.repec.org/p/wip/wpaper/26.html>.

- Scherer, F.M. (1982). Demand- pull and technological invention:
- Schmookler revisited. *The Journal of Industrial Economics*, 30(3), 225–237. DOI: <https://doi.org/10.2307/2098216>.
- Schmookler, J. (1962a). Changes in industry and in the state of knowledge as determinants of industrial invention. In *The Rate and Direction of Inventive Activity: Economic and Social Factors*. Princeton University Press, 195–232.
- Schmookler, J. (1962b). Economic sources of inventive activity. *The Journal of Economic History*, 22(1), 1–20.
- Schot, J. and W.E. Steinmueller (2018). Three frames for innovation policy: R&D, systems of innovation and transformative change. *Research Policy*, 47(9), 1554–1567. DOI: <https://doi.org/10/gd56ww>.
- Schumpeter, J.A. (1939). *Business Cycles* (Vol. 1). Cambridge University Press. Available at: <http://journals.cambridge.org/production/action/cjoGetFulltext?fulltextid=5262972>.
- Schumpeter, J.A. (1942). *Capitalism, Socialism and Democracy*. Routledge.
- Sharif, N. (2006). Emergence and development of the National Innovation Systems concept. *Research Policy*, 35(5), 745–766.
- Siegel, I.H. (1962). Scientific discovery and the rate of invention. In *The Rate and Direction of Inventive Activity*. Princeton University Press, 441–458. DOI: <https://doi.org/10.2307/j.ctt183pshc.20>.
- Stewart, F. (1978). *Technology and Underdevelopment* (2nd ed.). UK: Palgrave Macmillan. DOI: <https://doi.org/10.1007/978-1-349-15932-1>.
- Trajtenberg, M. (2011). Can the Nelson-Arrow Paradigm still be the beacon of innovation policy? In Lerner, J. and S. Stern (eds), *The Rate and Direction of Inventive Activity Revisited*. University of Chicago Press, 679–684. Available at: <http://www.nber.org/chapters/c12379>.
- WIPO (World Intellectual Property Organization) (2011). *World Intellectual Property Report 2011: The Changing Face of Innovation* [WIPO Economics & Statistics Series]. Geneva: WIPO. Available at: <http://ideas.repec.org/b/wip/report/2011944.html>.
- WIPO (2013). *World Intellectual Property Report 2013: Brands, Reputation and Image in the Global Marketplace*. Geneva: WIPO – Economics and Statistics Division. Available at: <https://www.wipo.int/publications/en/details.jsp?id=384>.
- WIPO (2015). *World Intellectual Property Report 2015: Breakthrough Innovation and Economic Growth*. Geneva: WIPO. Available at: <https://ideas.repec.org/b/wip/report/2015944.html>.
- WIPO (2017). *World Intellectual Property Report 2017: Intangible Capital in Global Value Chains*. Geneva: WIPO. Available at: <https://www.wipo.int/publications/en/details.jsp?id=4225&plang=EN>.
- WIPO (2019). *World Intellectual Property Report 2019: The Geography of Innovation: Local Networks, Global Hotspots*. Geneva: WIPO. Available at: <https://www.wipo.int/publications/en/details.jsp?id=4467&plang=EN>.

Las nuevas tecnologías pueden impulsar el desarrollo



Lecciones históricas sobre la dirección de la innovación

En el siglo pasado, especialmente tras la Segunda Guerra Mundial, el mundo ha experimentado numerosos cambios, en ocasiones radicales, en la dirección de la innovación. En este capítulo se destacan tres estudios de casos que representan esos períodos de cambio, a saber, la investigación médica durante la Segunda Guerra Mundial, la carrera espacial y el auge inicial de los sectores de las tecnologías de la información (TI) en Asia Oriental.

Los cuantiosos datos y las evidencias detalladas de que se dispone sobre cada uno de los tres casos y el tiempo considerable que ha transcurrido permiten comparar la dirección de la innovación antes y después de esos períodos. Resulta interesante que se pueda estudiar la previsibilidad de la dirección de la innovación. Los investigadores que estudiaban la penicilina en la década de los años treinta podrían haber percibido su gran potencial, si bien es más difícil que los científicos que crearon los paneles fotovoltaicos para los programas de vuelos espaciales tripulados en los años sesenta pudieran predecir los amplios usos que se les daría en el futuro.

Como se ha visto en el capítulo 1, los factores económicos pueden determinar la dirección de la innovación. La intensidad y la fuerza de la curiosidad humana y los conocimientos científicos sirven de compás que orienta la detección las vías prometedoras. La demanda del mercado también desempeña un papel fundamental, pues incentiva la selección de determinadas vías tecnológicas. Todos esos factores pueden influir en las decisiones relativas a la financiación y la asignación de recursos.

Los factores señalados anteriormente están presentes en los tres estudios de casos que figuran a continuación, aunque pueden tener un peso relativamente distinto en cada uno de ellos. En este capítulo se describen los antecedentes históricos de cada estudio de caso, los respectivos ecosistemas de innovación y la función que desempeñan las distintas partes interesadas –gobiernos, empresas, particulares e universidades– para determinar la dirección de la innovación. Como se muestra en los estudios de casos históricos (la Segunda Guerra Mundial y la carrera espacial) analizados en este capítulo, algunas innovaciones, a pesar de sus importantes repercusiones, no siempre estuvieron protegidas mediante

derechos de propiedad intelectual (DPI) por varios motivos, como las normas de la época, la seguridad o la confidencialidad. El primer estudio de caso se centra en la innovación durante la Segunda Guerra Mundial, especialmente en el ámbito de la medicina, y sus repercusiones posteriores. En el segundo, se examina la evolución de la industria espacial desde la Segunda Guerra Mundial hasta la actualidad. Por último, en el tercer estudio de caso se analiza el auge del sector de las TI en determinadas economías de Asia Oriental.

Es importante señalar que estos estudios de casos difieren respecto del alcance y la escala de las innovaciones a las que se refieren. Sin embargo, los tres sirven de ejemplo histórico del amplio conjunto de factores, y la interacción entre ellos, que influyen en la dirección de la innovación.

2.1 La Segunda Guerra Mundial¹

Los Estados Unidos de América ponen la ciencia en pie de guerra

Más de 70 años después del final de la Segunda Guerra Mundial, numerosas innovaciones médicas que se crearon para satisfacer necesidades en el campo de batalla forman parte de las prácticas hospitalarias habituales en todo el mundo. La penicilina (véase el recuadro 2.1), los medicamentos contra el paludismo y las transfusiones sanguíneas son ejemplos de las innovaciones médicas impulsadas por las necesidades de las fuerzas armadas que, con el tiempo, se pusieron a disposición de la población civil y salvaron millones de vidas.

Si bien la innovación no puede solventar todas las crisis, los peligros naturales, las guerras y las pandemias

son ejemplos de que a menudo puede remediar sus efectos.² La velocidad con la que se descubren las soluciones también reviste suma importancia. Las crisis y sus consecuencias pueden descontrolarse si no se les da respuesta con rapidez.³ La intensa labor de los investigadores dirigida a hallar respuestas, junto con la urgencia que permite asumir mayores riesgos, crea la situación propicia para el progreso científico y tecnológico en los ámbitos relacionados con las crisis e, incluso, para el nacimiento de nuevas tecnologías. Ahora bien, también debe señalarse que esas emergencias pueden acaparar atención y recursos que podrían destinarse en ámbitos que no guardan relación con las crisis y, en consecuencia, obstaculizar o interrumpir las vías de desarrollo tecnológico en estos ámbitos.

En este estudio de caso se detalla cómo el Gobierno de los Estados Unidos de América movilizó a científicos civiles para satisfacer las necesidades surgidas de la guerra mediante la creación y la financiación de la Oficina de Investigación y Desarrollo Científico (OSRD). En particular, se subraya la labor de una de sus divisiones, el Comité de Investigación Médica (CMR). La OSRD se disolvió en diciembre de 1947, pero ha dejado una huella profunda en las políticas de innovación estadounidenses. La constitución y la expansión de varias instituciones actuales, como la Fundación Nacional de las Ciencias (NSF) y los Institutos Nacionales de la Salud (NIH), tienen su origen en las labores de investigación realizadas durante la Segunda Guerra Mundial. Esta labor generó una variedad de avances tecnológicos, como el radar, la bomba atómica, la coherencia, la propulsión a reacción o las radiocomunicaciones, entre otros. Por último, mediante el estudio de caso se trata de extraer lecciones generales de esa labor de innovación en tiempos de crisis.

La guerra demandaba tecnología de vanguardia

Para el Gobierno de los Estados Unidos de América, era evidente que la Segunda Guerra Mundial era una guerra tecnológica y que, sin unas tecnologías militares de vanguardia, este país y las potencias aliadas no tenían posibilidades de obtener la victoria. La OSRD se constituyó en junio de 1941, varios meses antes de que los Estados Unidos de América entrara oficialmente en la guerra, para movilizar a los sectores público y privado y a la comunidad científica con el objetivo de que el ejército tuviera acceso a esas tecnologías y conocimientos de vanguardia.⁴

Vannevar Bush,⁵ presidente del Instituto Carnegie de Washington y antiguo vicepresidente y decano de ingeniería del Instituto Tecnológico de Massachusetts (MIT), fue designado para dirigir la OSRD. Vannevar Bush reunió a un pequeño grupo de científicos de élite para investigar los problemas relativos al desarrollo, la producción y la utilización de “mecanismos y dispositivos” bélicos. Al final de la guerra, este reducido grupo

había ampliado enormemente sus áreas de interés, y su presupuesto había aumentado de 6,2 millones de USD (con el valor del dólar en 1945) en 1940 a 160 millones en 1944, y a 170 millones en 1945.⁶ Aunque el presupuesto era reducido si se compara con las cifras actuales, en aquella época no tenía precedentes, puesto que era casi 100 veces mayor de lo que el Gobierno de los Estados Unidos de América había invertido en ciencia anteriormente. Al final de la guerra, la OSRD había gastado más de 536 millones de USD en I+D, por medio de más de 2.500 contratos.⁷

Recuadro 2.1

Penicilina

La producción en serie de la penicilina es el logro más celebrado de la investigación médica llevada a cabo durante la Segunda Guerra Mundial. La función inicial más importante que desempeñó el CMR fue la coordinación. Convenció a las empresas escépticas con las capacidades pertinentes para que comenzaran a desarrollar un proceso productivo comercial, organizó reuniones entre empresas e investigadores del Laboratorio de Investigación Regional del Norte (NRRL) del Departamento de Agricultura de los Estados Unidos de América – actor crucial en el desarrollo de la penicilina –, facilitó el intercambio de información y dirimió las controversias que surgieron.⁸ Así, el CMR asumió una función primordial en la coordinación de ensayos clínicos y pruebas en condiciones reales. Destinó cerca de 2 millones de USD, cerca del 8% de su presupuesto total, a la adquisición de penicilina para efectuar ensayos. En algunos casos, el Gobierno construyó las instalaciones de producción necesarias; en otros, lo hicieron empresas privadas que confiaban en la idea de que había un gran mercado garantizado. Organismos públicos como la Junta de Producción Bélica (WPB), creados para supervisar la producción de guerra de los Estados Unidos de América, contribuyeron a promover el intercambio de información y superar los obstáculos técnicos a la producción.⁹ Los antibióticos fueron el medicamento más vendido durante los 25 años posteriores a la guerra¹⁰ y constituyeron el centro de atención de decenas de innovaciones subsiguientes. En la guerra, el CMR fundó un programa paralelo para sintetizar químicamente la penicilina, con el objetivo de no depender de la producción orgánica, cuyos rendimientos eran reducidos. Aunque el programa no dio los resultados esperados, los conocimientos que se generaron “allanaron el camino para lograr la síntesis general de la penicilina en los años cincuenta, lo cual permitió la elaboración de la penicilina semisintética, de valor incalculable”, señala Swann (1983).¹¹

El CMR no formaba parte de la OSRD desde sus orígenes, sino que fue incorporado posteriormente. Aunque su presupuesto representaba una décima parte del de la OSRD, desempeñaba una función central. El CMR estaba compuesto por varias divisiones dedicadas a la medicina, la cirugía, la medicina aeronáutica, la fisiología, la química y el paludismo (véase el recuadro 2.2). Esta enfermedad resultó ser un enemigo imprevisto durante la Primera Guerra Mundial, puesto que afectó a un número muy elevado de combatientes y civiles.¹² El Comité tenía el mandato de determinar “la necesidad y el carácter de los contratos que habían de firmarse con las universidades, los hospitales y otros organismos que realizaban actividades de investigación médica”, así como de recomendar esos contratos para su financiación.”¹³

El apoyo federal a gran escala a la investigación médica era una idea radical en esa época. Chester Keefer, a quien se atribuyó el sobrenombre del “zar de la penicilina” por su labor de racionamiento de la distribución del medicamento a civiles durante la guerra, describió el CMR como “un experimento novedoso en la medicina estadounidense, pues la investigación médica planificada y coordinada nunca había realizado ensayos de tal envergadura”. El CMR facilitó y apoyó la producción en serie de la penicilina, la creación y producción de vacunas (véase el recuadro 2.3) y el desarrollo de sustitutos de la sangre (véase el recuadro 2.4), así como la investigación de hormonas (véase el recuadro 2.5) y otras muchas tecnologías médicas. Esta labor abrió las puertas a otras investigaciones y adelantos médicos que tuvieron un gran alcance en años posteriores a la Segunda Guerra Mundial.

Recuadro 2.2 Medicamentos contra el paludismo

El CMR invirtió la mayor parte de su presupuesto en la búsqueda de medicamentos para combatir el paludismo, que en la Primera Guerra Mundial fue una grave amenaza en muchas zonas de combate, especialmente en el Pacífico Sur. La Fundación Rockefeller y el Consejo Nacional de Investigación (NRC), que asesoran al Gobierno de los Estados Unidos de América en materia de ciencia y tecnología, realizaron investigaciones sobre el paludismo en los años treinta. La labor estadounidense se centró en hallar un sustituto para el Atabrine, medicamento alemán contra el paludismo, puesto que los intentos de los Estados Unidos de América de recrear dicho medicamento habían generado varios efectos secundarios, como náuseas o diarrea. La Junta para la Coordinación de Estudios sobre el Paludismo (Board for Coordination of Malarial Studies), creada en 1942, estaba compuesta por representantes militares y científicos civiles. Habida cuenta de que existían miles de compuestos que estudiar, el CMR debía

coordinar la labor de investigación de cada una de las empresas y laboratorios académicos para que no se produjera una duplicación de esfuerzos excesiva y, al mismo tiempo, para evitar lagunas importantes. Como había hecho con la penicilina, trató de promover el intercambio de información y la colaboración sin poner en peligro los intereses patrimoniales. Resulta curioso que el medicamento que se utilizó finalmente fue el Atabrine, puesto que la investigación había demostrado que, después de todo, era “relativamente inocuo”. Los descubrimientos sobre una de las moléculas estudiadas, la cloroquina, llegaron demasiado tarde para ser de utilidad durante la guerra, pero en los años inmediatamente posteriores este fármaco se convertiría en un tratamiento revolucionario contra el paludismo. Las investigaciones sobre este y otros principales compuestos de interés descubiertos durante la guerra prosiguieron.¹⁴ Algunos de los compuestos vinculados con la actividad bélica son la primaquina, la mefloquina y el Malarone. La demanda por parte del ejército estadounidense siguió siendo elevada durante los conflictos de Corea y Viet Nam, si bien el paludismo dejó de ser un gran problema de salud nacional.

La innovación de origen militar resultó ser duradera

El papel del gobierno

En una crisis repentina, los gobiernos pueden desempeñar un papel decisivo si movilizan fuerzas, reorientan la financiación y coordinan las labores de los sectores público y privado. Pueden formular políticas de innovación para satisfacer una necesidad concreta, pero los efectos de la medida pueden persistir mucho después de que la crisis se haya resuelto. La OSRD, por ejemplo, financió determinados sectores para obtener una ventaja tecnológica y militar. Sin embargo, los resultados de esas innovaciones siguen beneficiando a civiles en los Estados Unidos de América y otros países.

La prontitud de los gobiernos para responder a una crisis incipiente depende de la medida en que estén preparados para reaccionar. Las políticas de innovación, la preparación de las instituciones, la existencia de canales de comunicación y coordinación entre los distintos organismos –públicos, privados y académicos– son algunas de las condiciones previas a las crisis que pueden cambiar el rumbo y la eficacia de las respuestas. Antes de la Segunda Guerra Mundial, el Gobierno de los Estados Unidos de América no contaba con una política de innovación sistemática. Los NIH existían desde los años treinta, pero su presupuesto y dedicación a la investigación eran limitados. Excepto en el ámbito de la agricultura, la financiación

federal de la investigación académica era escasa. No obstante, la novedad y el tamaño reducido de la OSRD en cierto modo jugaron en su favor al liberarla de lentos procedimientos burocráticos. El Gobierno de los Estados Unidos de América le concedió plena libertad para destinar capital financiero y recursos humanos y para coordinar las labores tanto a escala local –del ejército, por una parte, y de las empresas y las universidades del país, por otra– como a escala internacional con los científicos de los países aliados. Este modo de proceder centralizado y coordinado puso las necesidades del campo de batalla directamente sobre la mesa de los científicos, a quienes se proporcionaba información inmediata sobre el desempeño de sus resultados.

En resumen, los rasgos fundamentales de la OSRD eran la financiación de actividades de investigación ampliamente aplicables que se centraban en la resolución de crisis, el establecimiento de prioridades con la estrecha cooperación del ejército y la formulación de políticas (también en materia de patentes) para atraer a los investigadores más competentes. Otra característica notable era que estaba dispuesta a financiar las actividades de varios rivales cuando no estaba claro dónde se hallaría la solución. Así sucedió, por ejemplo, en las investigaciones sobre el paludismo y la penicilina. La participación de la OSRD no se limitaba a garantizar las adquisiciones y firmar acuerdos anticipados. También coordinaba las labores de I+D descentralizadas y prestaba apoyo no solo a la investigación sino también a la producción ulterior y la adopción del producto, y por lo general daba prioridad al tiempo (para resolver rápidamente las crisis) respecto del dinero. Además de la actividad a escala nacional, la OSRD también se encargaba de la colaboración internacional, por ejemplo, la cooperación entre los científicos británicos y estadounidenses en la investigación sobre la penicilina.

Como se ha señalado, la influencia de la OSRD en la innovación estadounidense perduró mucho tiempo después del final de la Segunda Guerra Mundial. Los estudios muestran que, en total, la concesión de patentes a inventores de los Estados Unidos de América era de un 50% a un 60% mayor después de la guerra en las categorías tecnológicas respaldadas por la OSRD, en comparación con los sectores que no recibieron su apoyo. Las categorías respaldadas por la Oficina eran las investigaciones nucleares, los rayos X, las comunicaciones (por ejemplo, el radar y la radionavegación) y los dispositivos semiconductores (como los transistores), así como el *hardware* y el *software* de computadoras.¹⁵ En cambio, la concesión de patentes en Francia y en el Reino Unido, cuyos gobiernos no habían proporcionado un apoyo similar, no siguió la misma tendencia después de la guerra. La Segunda Guerra Mundial provocó claramente un cambio notable en la dirección de la innovación en los Estados Unidos de América.

Recuadro 2.3

Vacunas

Antes incluso de la Segunda Guerra Mundial, el Gobierno de los Estados Unidos de América (por medio de la Oficina del Cirujano General del Ejército y otros departamentos) había iniciado investigaciones relativas a las vacunas contra varias enfermedades infecciosas, entre ellas, la gripe. Una cepa de la gripe especialmente virulenta había acabado con la vida de millones de soldados y civiles en todo el mundo al final de la Primera Guerra Mundial, una cifra superior a la de los fallecidos durante los cuatro años que duró la guerra. El ejército llevó a cabo investigaciones científicas básicas y una labor preliminar sobre varias vacunas, por ejemplo, contra las infecciones por neumococos, que podían producir neumonía, sepsis o meningitis, y contra la gripe. La Fundación Rockefeller apoyó la labor académica relativa a las vacunas. Cuando se constituyó la OSRD, ya se había logrado la viabilidad científica de varias posibles vacunas. Faltaba hallar métodos para aumentar la producción y evaluar las vacunas para comprobar que fueran seguras y eficaces.¹⁶ El CMR contrató académicos y recurrió a la industria para mejorar el rendimiento, normalizar las concentraciones e impulsar la producción. Colaboró con la industria para producir vacunas suficientes para realizar ensayos y, además, financió los ensayos clínicos y las pruebas en condiciones reales. La función principal del Gobierno era coordinar la labor para hallar los serotipos predominantes en la población militar y para desarrollar, perfeccionar y probar una vacuna que contuviera esos serotipos. Los avanzados sistemas militares de registro y los índices elevados de la enfermedad en una población controlada ofrecieron una base ideal para ensayar las vacunas. Hoyt¹⁷ calcula que la labor efectuada durante la guerra ayudó a elaborar nuevas vacunas o a perfeccionar las existentes contra 10 de las 28 enfermedades prevenibles mediante vacunación que se conocieron en el siglo XX, como el tétanos, el botulismo, la encefalitis japonesa y la fiebre amarilla. Sin embargo, algunas de esas vacunas, como la de la encefalitis japonesa (una infección cerebral viral), no prosperaron comercialmente debido al reducido índice de prevalencia en América del Norte.

El papel del sector privado

Desde el principio, las empresas privadas—especialmente en los sectores eléctrico, químico y farmacéutico— contribuyeron en gran medida a la innovación relacionada con la guerra. La OSRD y el CMR adoptaron políticas y adjudicaron contratos de un modo que atraía a las empresas privadas, puesto que les

proporcionaban financiación, reducían los riesgos de la inversión y promovían los vínculos de comunicación entre ellas. En los proyectos que no se consideraban demasiado sensibles para hacerlos públicos, la OSRD permitía a las empresas que solicitaran y conservaran patentes, aunque a condición de que, cuando fuera necesario, concedieran licencias sobre ellas a los organismos públicos.

No obstante, en tiempos de crisis, especialmente en las etapas iniciales, el alcance y los límites de los problemas pueden ser difusos y evolucionar con rapidez. Un grado elevado de incertidumbre puede desalentar la participación de los actores privados, que pueden vacilar cuando se trata de asumir los costos relativos a actividades avanzadas de I+D y a capital físico y recursos humanos, si no tienen asegurado el rendimiento de las inversiones. Sin embargo, el sector privado también puede actuar motivado por factores como el altruismo o los beneficios para su reputación. Durante la Segunda Guerra Mundial, algunas (aunque no todas) las empresas trataron de contribuir activamente movidas por un sentimiento de patriotismo.¹⁸

La participación en la labor innovadora en tiempos de guerra podía ser muy beneficiosa para el sector privado. Las empresas desarrollaron conocimientos implícitos y, en los aspectos en los que pudieron retener u obtener DPI, estos y otras ventajas persistieron tras la guerra. La producción en serie de la penicilina no habría sido posible sin los procesos de producción innovadores introducidos por empresas como Merck, Squibb, Lilly y Pfizer.¹⁹

Las labores de investigación relativas a la penicilina fueron las precursoras de la elaboración de antibióticos por parte de empresas farmacéuticas en los decenios posteriores a la guerra. Antes de la Segunda Guerra Mundial, Pfizer era un fabricante químico que, en los años diez y veinte, concibió un método para fermentar el ácido cítrico, ingrediente fundamental de los refrescos. En la década de los cuarenta, la empresa fue contratada para ayudar a perfeccionar la producción de penicilina mediante ese método de fermentación. Su provechosa participación en el programa le permitió descubrir, en 1950, la oxitetraciclina, uno de los primeros antibióticos.²⁰ El desarrollo de antibióticos a gran escala provocó un descenso drástico de la mortalidad debida a infecciones bacterianas y un aumento general de la esperanza de vida.²¹ El descubrimiento de la oxitetraciclina, junto con un cambio de la estrategia empresarial, transformó a Pfizer en una importante compañía farmacéutica. En 2020, fue una de las primeras empresas en elaborar la vacuna contra la COVID-19 para contener los efectos de la pandemia de la enfermedad por coronavirus.

El proceso de contratación de la OSRD era sumamente selectivo

Cuadro 2.1. Las diez principales universidades que firmaron contratos con la OSRD, clasificadas en función del valor total (1941-1947)

Universidad	Valor total (USD)	%
Instituto Tecnológico de Massachusetts	106,8	23,1
Instituto Tecnológico de California	76,6	16,6
Universidad de Harvard	29,1	6,3
Universidad de Columbia	27,1	5,9
Universidad de California	14,6	3,2
Universidad Johns Hopkins	10,8	2,3
Universidad George Washington	6,9	1,5
Universidad de Chicago	5,7	1,2
Universidad de Princeton	3,6	0,8
Universidad de Pensilvania	2,9	0,6
Total	284,0	61,5

Fuente: Gross y Sampat (2020b).

Nota: Los porcentajes representan la proporción del gasto total de la OSRD en investigación en cada universidad.

El papel de las instituciones académicas

La mayor parte de la labor científica realizada durante la Segunda Guerra Mundial se centró en investigaciones aplicadas, es decir, orientadas a resolver problemas concretos. Sin embargo, los descubrimientos logrados durante la guerra no habrían sido posibles sin la investigación básica efectuada previamente en las universidades, los laboratorios de investigación y los hospitales. Por ejemplo, la falta de investigación previa a la guerra fue el factor que limitó la capacidad del CMR para elaborar una vacuna eficaz contra el carbunco, que se temía que pudiera utilizarse como arma biológica. En cambio, cuando estalló la guerra en 1939, el bacteriólogo británico Alexander Fleming, junto con un equipo de investigadores de la Universidad de Oxford, ya llevaba años investigando la penicilina, desde que la descubrió en 1929. Si bien los intentos del equipo de purificar la molécula de la penicilina en cantidades suficientes para probarla en humanos no dieron resultados en los años treinta, sentaron las bases para lograrlo durante la guerra. De hecho, Howard Florey, uno de los investigadores de Oxford, viajó a los Estados Unidos de América y colaboró con el CMR.²² Otro ejemplo es el equipo de investigadores dirigidos por Edwin Cohen, físico-químico de la Facultad de Medicina de Harvard que encabezó la investigación de la transfusión sanguínea (véase el recuadro 2.4).

Recuadro 2.4 Sustitutos de la sangre

Otra necesidad imperiosa durante la guerra era la relacionada con los sustitutos sanguíneos para compensar la pérdida de sangre debida a heridas, hemorragias, quemaduras o cirugía.²³ Era necesario que los sustitutos pudieran almacenarse fácilmente y transportarse a ubicaciones alejadas.²⁴ Un equipo presidido por el químico Edwin Cohen dirigió la investigación de la transfusión sanguínea. En el laboratorio de Cohen se aisló la seroalbúmina humana y se sometió a ensayo a principios de 1941. En el momento del ataque a Pearl Harbor en diciembre de ese año, ya se usaba para tratar a personas heridas.²⁵ Posteriormente, las técnicas que se habían perfeccionado durante la guerra fueron importantes en el ámbito de la recuperación quirúrgica para mantener el volumen sanguíneo durante los fallos cardiovasculares –en los que la tensión arterial disminuye bruscamente–, para resolver problemas de coagulación y para tratar otras enfermedades, como el sarampión.

Otra personalidad destacada en este ámbito fue el investigador médico estadounidense Charles Drew, que ideó y mejoró las técnicas de almacenamiento de la sangre, lo cual contribuyó a la creación de bancos de sangre a gran escala en el Reino Unido en 1940.

El proceso de contratación de la OSRD era muy selectivo y se concentraba exclusivamente en las mejores universidades. Por ejemplo, asignó más de un tercio de su financiación a solo dos instituciones, el MIT y el Instituto Tecnológico de California (CalTech) (véase el cuadro 2.1). En el mismo sentido, la colaboración del CMR con instituciones académicas también se centró en gran medida en unas pocas universidades de élite (véase el cuadro 2.2).

La colaboración del CMR con instituciones académicas se concentró en unas pocas universidades de élite

Cuadro 2.2. Principales universidades y hospitales contratados para realizar proyectos relativos a la penicilina y al paludismo (1941-1947)

Penicilina	Paludismo
Hospital Memorial de Massachusetts (6,66%)	Universidad de Chicago (15,8%)
Universidad Cornell (6,8%)	Universidad de Columbia (11,0%)
Universidad Johns Hopkins (4,7%)	Universidad de Nueva York (9,7%)
Universidad de Michigan (4,1%)	Universidad Johns Hopkins (8,7%)
Universidad de Pensilvania (3,67%)	

Fuente: Gross y Sampat (2020b).

Nota: Los porcentajes representan el gasto destinado a cada institución en relación con el gasto total en proyectos.

Recuadro 2.5 Hormonas

Antes incluso de la Segunda Guerra Mundial, las investigaciones habían comenzado a aislar, producir y administrar hormonas en respuesta a una variedad de enfermedades y afecciones que abarcaban desde el estreñimiento hasta la obesidad.²⁶ El CMR aceleró la investigación de las hormonas corticales, que ayudaron a superar el vértigo en la aviación y a combatir la fatiga, así como a tratar los traumas sufridos en el campo de batalla y en la cirugía.²⁷ Tras la guerra, la terapia hormonal comenzó a generalizarse y la cortisona se convirtió en un medicamento “milagroso” en los decenios posteriores. Las investigaciones subsiguientes demostraron que las hormonas corticales podían reducir la inflamación y aliviar el dolor artrítico, así como tratar reacciones de tipo alérgico.

Conclusiones del estudio de caso

Las crisis como las guerras, las pandemias o los peligros naturales pueden catalizar los factores tecnológicos, comerciales o políticos que impulsan la innovación. Son una perturbación del sistema de innovación y afectan a varios parámetros del ecosistema tecnológico. Los efectos de la innovación que surge de las crisis pueden ser duraderos si la demanda persiste y las soluciones siguen siendo aplicables. De no ser así, cuando la crisis se disipa, esos efectos también desaparecen.

La historia de la OSRD trata de la innovación surgida de una crisis, aunque con el rasgo especial de que la Oficina contaba con un único cliente, a saber, el ejército. La OSRD funcionaba de manera vertical y centralizada y contrataba únicamente a un número reducido de científicos, empresas y universidades de élite. Otras crisis, como las pandemias, deberán atender las necesidades de una amplia variedad de destinatarios. Tal vez sea más adecuado adoptar un método más descentralizado y contar con la participación de un grupo más amplio de colaboradores.²⁸

El enfoque institucional y administrativo de la OSRD sobre la innovación siguió reflejándose en el sistema de innovación estadounidense posterior a la guerra. Por ejemplo, la manera de contratar de la Oficina, que consistía en adquirir actividades de I+D en lugar de productos concretos –una idea revolucionaria en esa época– se convirtió en la base de un programa de becas de los NIH que surgió para apoyar la investigación externa.²⁹ El sistema de los NIH de revisión externa, posterior a la guerra, también se inspiró en el enfoque del CMR, en el que científicos médicos del NRC revisaban y valoraban la viabilidad de los proyectos de interés para el ejército, y financiaban aquellos que habían obtenido las mejores puntuaciones.³⁰

Los descubrimientos médicos impulsados por el CMR aprovecharon las labores de investigación efectuadas antes de la guerra. Las innovaciones médicas subsiguientes que se llevaron a cabo en las décadas posteriores siguieron la misma senda científica, puesto que cada vez se hallaban más aplicaciones de carácter civil. Si bien el desarrollo de la penicilina, los antibióticos, la terapia hormonal y otros descubrimientos similares fue transformador, la senda innovadora que llevó hasta ellos fue acumulativa y, por lo tanto, en cierto modo predecible (véase el capítulo 1).

2.2 La industria espacial³¹

Un ejemplo clásico de innovación orientada a una misión

Las décadas de los cincuenta y los sesenta estuvieron caracterizadas por la rápida expansión económica y por asuntos de seguridad nacional. Las tensiones geopolíticas entre los Estados Unidos de América y la Unión Soviética desembocaron en una rivalidad militar y tecnológica. Los programas espaciales en ambos países nacieron de la ambición de ser los primeros en enviar a un humano a la Luna, que era un símbolo de poder y liderazgo en la tecnología aeronáutica y espacial. Si bien la motivación de ambos países era similar, los ecosistemas de innovación eran diferentes. El presente estudio de caso se centra en el ecosistema de los Estados Unidos de América. En este país, la Guerra Fría llevó a una expansión de la

I+D con financiación federal, y las actividades de I+D orientadas a una misión (como la de la Luna) dominaron el panorama financiero de la innovación.³² Ahora bien, aunque la financiación era un aspecto crucial, no era el único ingrediente esencial de la innovación en el programa espacial estadounidense. También era necesario contar con competencias técnicas y capacidad organizativa, así como con voluntad política y una colaboración estrecha entre los organismos públicos, privados y académicos.

La innovación en las iniciativas espaciales tenía dos objetivos, a saber, llegar al espacio y poder realizar operaciones desde allí. Las tecnologías creadas para la misión de llegar a la Luna debieron superar tres problemas específicos. En primer lugar, la cuestión de reducir la masa (tanto en peso como en volumen) (véase el recuadro 2.6); en segundo lugar, la necesidad de generar y almacenar energía (véase el recuadro 2.7); y, por último, los seres humanos y el equipo debían estar protegidos en un entorno difícil. Posteriormente, muchas de las tecnologías elaboradas tuvieron aplicaciones civiles que, a su vez, dieron origen a tecnologías completamente novedosas. Los paneles solares, la inteligencia artificial (IA) y el *hardware* y *software* de computadoras son ejemplos de esas tecnologías (véase el recuadro 2.8). Estas también muestran un cambio no intencionado de la dirección de la innovación (véase el capítulo 1) y son el resultado de una innovación intencionada (orientada a una misión) que con posterioridad evolucionó de manera impredecible.

En el presente estudio de caso se examinan las principales tecnologías de la industria espacial y el modo en que su madurez, a partir de los años ochenta, ha brindado al sector privado oportunidades de entrar en este sector. Se presentan algunos ejemplos de innovación en los ámbitos del almacenamiento de energía, el procesamiento digital, las computadoras, la IA y los compuestos de fibra de carbono. Por último, se proponen posibles vías para seguir innovando.

Recuadro 2.6**Fibra de carbono**

La industria aeroespacial ha sido la principal impulsora del sector de la fibra de carbono y los plásticos reforzados con fibra de carbono (CFRP). La fibra de carbono comenzó a probarse con ocasión de las actividades de I+D del Departamento de Defensa (DoD) de los Estados Unidos de América y la Administración Nacional de Aeronáutica y el Espacio (NASA), motivadas en gran medida por la necesidad de hallar materiales de masa reducida (tanto en peso como en volumen) para fabricar el cuerpo de los vehículos espaciales. Vencer la gravedad de la Tierra para alcanzar el espacio requiere enormes cantidades de energía, por lo que los materiales ligeros eran, y siguen siendo, un componente fundamental para optimizar el sistema de propulsión del cohete y llevar al espacio la mayor carga útil posible.

Las propiedades mecánicas extraordinarias de la fibra de carbono (fuerza, conductividad y ligereza) eran suficientemente valiosas para justificar el precio elevado. Su ligereza mejora la eficiencia energética, y el material también puede moldearse para darle casi cualquier forma. Los moldes pueden diseñarse de manera que varias piezas distintas estén incluidas en un solo molde, lo cual reduce considerablemente el número de piezas necesarias para construir un vehículo espacial. Esta propiedad tuvo como resultado una aceleración de los procesos de fabricación y ensamblado y brindó la posibilidad de reducir costos. La fibra de carbono también presentaba otras ventajas para la exploración espacial, como una mejor protección térmica y una mayor resistencia a la radiación solar.³³ La cabina del Apolo, lanzada en 1969, estaba construida con una tecnología de materiales precoz que consistía en fibra de vidrio en forma de escudo térmico. Desde la época del Apolo, la tecnología de fibra de carbono ha avanzado y se ha utilizado en vehículos de lanzamiento, el transbordador espacial, satélites, telescopios espaciales y la Estación Espacial Internacional (EEI).³⁴ Sin embargo, las fibras de carbono son quebradizas y rígidas, lo que puede limitar su utilización, y el proceso de fabricación requiere un grado elevado de especialización.

La demanda de estos productos especializados todavía es escasa. Se están realizando investigaciones para sustituir las palas de fibra de vidrio de los generadores eólicos por palas optimizadas de fibra de carbono. Con este material se pueden fabricar palas más grandes de menor masa, lo que permite aprovechar mayores cantidades de energía. A medida que aparezcan más aplicaciones civiles viables, la utilización de la fibra de carbono será más rentable.

La carrera espacial

Al acabar la Segunda Guerra Mundial, surgió una intensa lucha por el poder entre los Estados Unidos de América y la Unión Soviética. Uno de los aspectos de la competición era la elaboración de avanzados cohetes, principalmente con fines militares. A finales de 1957, la Unión Soviética sorprendió al mundo al ser el primer país que lanzó un satélite (el Sputnik 1) a la órbita terrestre baja. El Gobierno de los Estados Unidos de América, impresionado, respondió con la creación de la NASA un año después. Se encargó a este organismo de carácter civil la exploración pacífica y científica del espacio. En un famoso discurso pronunciado en el Congreso en 1961, el presidente estadounidense John F. Kennedy anunció la puesta en marcha de un programa para enviar a una persona a la Luna antes de que terminara la década. El objetivo se alcanzó en octubre de 1969 gracias a una firme voluntad política y a un presupuesto generoso, así como a la amplia capacidad técnica de la NASA y de la comunidad científica e ingenieril.

Sin embargo, una vez cumplida la misión, los Gobiernos de los Estados Unidos de América comenzaron a retirar la financiación federal de los programas de exploración espacial humana a gran escala y redujeron el presupuesto de la NASA. En cambio, se le encargó que diseñara y pusiera en funcionamiento otro vehículo espacial, el transbordador espacial, que pudiera reutilizarse para proporcionar acceso humano y robótico al espacio. En 1972, el presidente Richard Nixon aprobó el proyecto del transbordador espacial,³⁵ que permitía mantener el programa de vuelos espaciales tripulados como símbolo del liderazgo espacial del país y tenía aplicaciones de seguridad nacional. Ahora bien, el motivo principal por el que el presidente respaldó el transbordador fue su promesa relativa a los vuelos de rutina y la reducción de los costos en este ámbito.

A finales de la década de los sesenta y en los años setenta, otros países desarrollaron capacidades espaciales. La Organización Europea para la Investigación Espacial se fusionó con la Organización Europea para el Desarrollo de Lanzaderas para crear la Agencia Espacial Europea (ESA) en 1975. A mediados de los años setenta, el Canadá también comenzó a cooperar con el programa espacial de los Estados Unidos de América, especialmente para elaborar Canadarm, un brazo robótico ideado para maniobrar con la carga útil de los cohetes. En los ochenta, muchos países habían construido satélites de telecomunicaciones y la mayoría de los países habían participado activamente en Intelsat, una organización intergubernamental que promovía la utilización de las telecomunicaciones espaciales en todo el mundo.

A finales del siglo XX, los programas espaciales habían generado tecnologías de telecomunicaciones por satélite y estimulado la participación comercial en las

actividades espaciales. El sector comercial y competitivo del espacio, que cuenta con nuevos participantes comerciales, se está convirtiendo en un elemento importante de todos los programas espaciales en los Estados Unidos de América y en otros países. En la primera década del siglo XXI, tanto empresas como algunos sectores de la industria comenzaron a invertir y a depender en gran medida y más que nunca de las tecnologías espaciales, inicialmente los servicios de telecomunicaciones. Las economías industriales avanzadas dependen cada vez más de los sistemas espaciales para disponer de TI, imágenes de teledetección, datos de posicionamiento, navegación y temporización (PNT) y otras aplicaciones.

¿Quién tiene el mando?

El papel del gobierno

Desde su origen, los programas espaciales de casi todos los países han sido principalmente una cuestión de seguridad nacional y un símbolo del progreso tecnológico. Los gobiernos son el motor fundamental de dos de los tres aspectos definitorios que determinan la dirección de la innovación en este ámbito, a saber, la voluntad política y la financiación. El tercer elemento es la competencia técnica de los científicos e ingenieros del sector privado y las instituciones académicas, así como los avances que logran. Varios

organismos públicos estadounidenses, como la NASA, el Departamento de Defensa y el Departamento de Energía (DoE), han contribuido al logro de numerosas innovaciones en la industria espacial. Por ejemplo, el sistema de posicionamiento global (GPS) de los satélites, que está presente en una amplísima variedad de dispositivos civiles, es un sistema de PNT elaborado y administrado por el Departamento de Defensa estadounidense, que es su propietario. La NASA se creó para llevar a cabo toda actividad espacial no militar, mientras que en febrero de 1958 se creó la Agencia de Proyectos de Investigación Avanzada (ARPA) –que en la actualidad se denomina Agencia de Proyectos de Investigación Avanzada para la Defensa (DARPA)– con la finalidad de desarrollar tecnologías espaciales y de otro tipo con fines militares. Las necesidades militares también han dado origen a otros productos espaciales como los satélites de teledetección, que permiten, por ejemplo, la recopilación remota de información sobre la Tierra. Si bien tradicionalmente los gobiernos han sido los principales clientes de los programas espaciales, estos también cuentan con clientes privados desde hace tiempo. Por ejemplo, en 1962, AT&T lanzó el satélite de telecomunicaciones privado Telstar, propiedad de esta empresa y operado por ella. El satélite estaba cubierto por un seguro privado y en su momento logró la notoriedad suficiente para que se le dedicara una composición de música pop que fue éxito de ventas. En los últimos años, ha surgido una nueva generación de mercados privados y comerciales dedicados a los productos espaciales.

Recuadro 2.7 Almacenamiento de energía

Las misiones espaciales requieren fuentes de energía fiables, estables y seguras. Las tecnologías e innovaciones relacionadas con la energía han permitido y favorecido la exploración espacial exhaustiva, los vuelos espaciales tripulados y los servicios terrestres basados en el espacio. A continuación, se describen brevemente dos tecnologías relacionadas con la energía.

Energía fotovoltaica

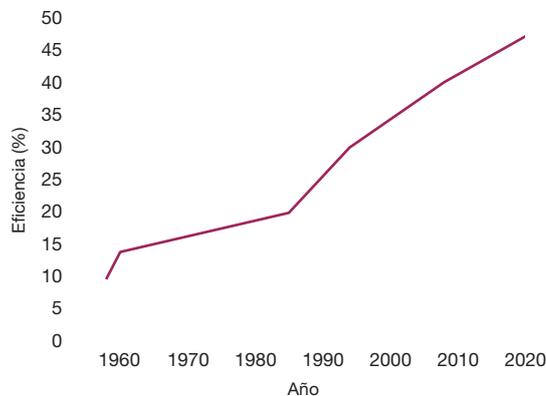
Las células solares modernas que pueden aprovechar la energía solar fueron creadas en 1953 por físicos que investigaban en Bell Laboratories (Estados Unidos de América). Sin embargo, debido al precio elevado, no se hallaron aplicaciones prácticas de las células solares de silicio hasta que el ejército estadounidense decidió, en 1958, que podrían ser una fuente de energía ideal para los satélites de órbita de la Tierra.³⁶ Desde entonces, se han logrado varios avances progresivos para aumentar la cantidad de luz solar que las células pueden convertir en energía. El porcentaje de luz solar transformado en energía se denomina

eficiencia de las células (véase el gráfico que figura más adelante).

A pesar de su amplia presencia en el equipo espacial, las células solares presentaban algunas limitaciones. Estos sistemas fotovoltaicos no generan energía cuando están a la sombra y su capacidad generadora disminuye a medida que aumenta la distancia con el Sol. Si una misión requiere energía continuada e ininterrumpida, será más conveniente contar con una combinación de varias fuentes de energía. No obstante, si pueden aceptarse interrupciones, paradas o hibernaciones, los paneles solares son una fuente de energía excelente y duradera. El robot todoterreno Opportunity, uno de los programas de la NASA para la exploración de Marte con más éxito, se lanzó al espacio en 2003 y, según las estimaciones, tendría una vida útil de 92 días (terrestres). El robot padeció varias paradas debido a que se acumulaba polvo sobre los paneles solares. Sin embargo, el viento de Marte retiraba regularmente esta acumulación de polvo, lo que permitió al todoterreno funcionar adecuadamente durante más de 14 años, es decir, 57 veces más tiempo de la vida útil estimada inicialmente.³⁷

Mejora de la energía fotovoltaica durante la era espacial

Gráfico 2.1. Eficiencia de la energía solar, en porcentaje (1960-2020)



Fuente: Departamento de Energía.

Nota: Estos datos representan la eficiencia alcanzada en condiciones de laboratorio ideales. En la práctica, la eficiencia actual de las células solares en el espacio es aproximadamente del 30%.

Energía nuclear

La energía nuclear se considera una posible fuente de energía para la exploración espacial desde la década de los cincuenta. Los datos sobre su rendimiento y fiabilidad parecen ofrecer una base segura para descubrir otros usos en el futuro. Sin embargo, solo se ha estudiado exhaustivamente un conjunto limitado de tecnologías de energía nuclear. Varios proyectos han debido finalizarse debido a problemas de presupuesto y de seguridad. Los sistemas de energía radioisotópica (RPS) son una excepción, puesto que desde 1961 se han hallado cientos de aplicaciones espaciales.³⁹ Estos sistemas convierten el calor generado por la descomposición natural del plutonio 238, un isótopo radiactivo, en energía eléctrica.³⁹ La Agencia Espacial Europea, la República Popular China, la Federación de Rusia y los Estados Unidos de América han seguido innovando con las tecnologías de RPS y han mejorado su diseño y los materiales utilizados para lograr una mayor eficiencia y seguridad.⁴⁰

El papel del sector privado

Las empresas privadas en los Estados Unidos de América siempre han formado parte de la innovación espacial. Desde el inicio, cerca del 80% de la financiación de la NASA se ha destinado a contratos con empresas. Sin embargo, como se ha señalado, no hace mucho tiempo que las empresas privadas han comenzado a invertir y a depender en gran medida de los sistemas espaciales. Si bien la financiación privada ha aumentado drásticamente en el siglo XXI (véase el gráfico 2.2), existe una salvedad importante relativa a la

inversión y la innovación del sector privado en las tecnologías espaciales. Muy pocas de las prósperas empresas espaciales “creadas recientemente” funcionan en un verdadero mercado dirigido por precios. Sin las ventas a los gobiernos, muchas de esas empresas no existirían. La empresa Space Exploration Technologies Corp. (SpaceX), que en la actualidad diseña, fabrica y lanza cohetes y vehículos espaciales avanzados, obtuvo una inyección inicial de financiación considerable mediante el programa Servicios Comerciales de Transporte Orbital de la NASA a principios de los años 2000. Esta financiación de cientos de millones de dólares permitió lanzar otro vehículo que reabasteciera la EEI, estación espacial multinacional colaborativa situada en la órbita terrestre baja. SpaceX ha obtenido contratos públicos de gran envergadura y a largo plazo con la NASA y el Departamento de Defensa. Además, la empresa cuenta con numerosos clientes privados. Ahora bien, sin la intervención del Gobierno en estos negocios, cabe dudar de que existieran empresas suficientes para dar respaldo a esos tipos de productos.

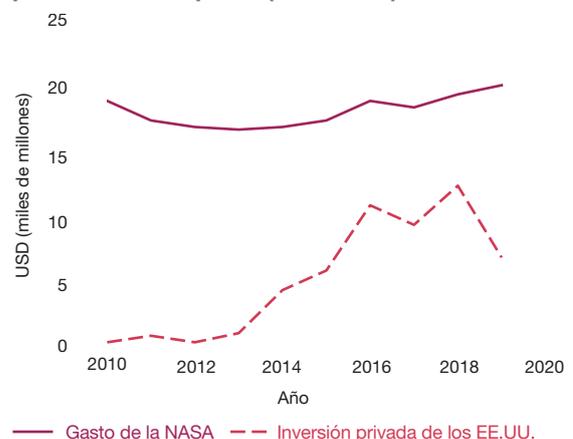
En el verano de 2021, empresas del hemisferio norte como SpaceX, Virgin Galactic o Blue Origin organizaron excursiones privadas al espacio, respaldadas por patrocinadores multimillonarios. Pese al revuelo mediático, es temprano para afirmar que esto sean los albores del turismo espacial privado, puesto que los inmensos costos hacen que solo los más adinerados puedan permitírselos, de momento.

El papel de las instituciones académicas

En diciembre de 1958, poco después de su creación, la NASA tomó el control del Laboratorio de Propulsión

La inversión privada en el espacio está en auge, pero no supera la financiación pública espacial

Gráfico 2.2. Gasto de la NASA e inversión privada en el espacio (2010-2019)



Fuente: OMPI, basado en Gobierno de los Estados Unidos de América (2021), *Informe económico del presidente*, gráfico 8.1, pág. 229.

La mayor parte de las innovaciones que surgieron de la NASA no fueron objeto de una demanda inmediata desde el ámbito civil para ampliar su producción con fines comerciales.

a Chorro (JPL), instalaciones de un contratista administradas por CalTech. Los laboratorios universitarios se cuentan, desde hace tiempo, entre los principales colaboradores de la NASA. Podría afirmarse que las computadoras personales actuales nacieron en los laboratorios del MIT (véase el recuadro 2.8). Las universidades también han sido la fuente principal de astronautas de la NASA, que cuenta con cerca de 40 profesionales que se formaron en el MIT, la Universidad Purdue y la Universidad de Standford.⁴¹

Recuadro 2.8

El procesamiento digital, las computadoras y la inteligencia artificial (IA)

La historia de las primeras computadoras está relacionada estrechamente con la de los vuelos espaciales. El programa Apolo, creado en 1961 para cumplir el objetivo de Kennedy de llegar a la Luna, fue el punto de partida para la utilización de las computadoras, los microchips y la automatización en la exploración espacial.

Tecnología del microchip

La exploración espacial se inspiró en las tecnologías aeronáuticas para utilizar gradualmente sistemas informáticos que ayudaran a realizar tareas como la navegación o la orientación. Los costos elevadísimos de acceder al espacio subrayaban la necesidad utilizar elementos más pequeños y ligeros en los sistemas tecnológicos de a bordo. Los circuitos integrados, más conocidos como microchips, han resultado especialmente atractivos para fabricar vehículos espaciales. Tienden a ser notablemente más reducidos que los circuitos eléctricos

tradicionales, consumen menos energía, aumentan la velocidad operativa y facilitan la reducción progresiva de los costos por función electrónica.⁴²

La computadora de navegación del Apolo

La NASA deseaba un sistema más autónomo para que en las misiones del Apolo se pudiera dar respuesta a los problemas de navegación, orientación y control del vuelo que pudieran surgir. El Instrumentation Lab del MIT fue el contratista principal encargado del diseño, el desarrollo y la construcción de los sistemas de *hardware* y *software* de la computadora de navegación del Apolo (AGC).⁴³ Era la primera vez que, en un programa de vuelo tripulado, se utilizaban computadoras de forma continuada en todas las etapas de la misión. El laboratorio del MIT tenía un acuerdo con Fairchild Semiconductor para que le suministrara microchips de silicio para fabricar la computadora de navegación del Apolo, que fue la primera computadora que utilizó esta tecnología. La decisión de utilizar microchips de silicio era atrevida, puesto que la tecnología aún no se había sometido a muchas pruebas.⁴⁴ La computadora de navegación del Apolo funcionó satisfactoriamente en las misiones en la órbita terrestre, en todas las misiones de aterrizaje en la Luna, en las relativas a la estación Skylab y en el proyecto conjunto ruso-estadounidense Apolo-Soyuz de 1975. Las múltiples innovaciones tecnológicas de la computadora de navegación del Apolo, entre ellas el *hardware*, el *software* y los microchips, transformarían no solo las computadoras de a bordo de los vehículos espaciales, sino también el mercado de consumo de computadoras en los cincuenta años posteriores.

Inteligencia artificial

La IA puede describirse, en sentido amplio, como algoritmos capaces de desempeñar tareas que tradicionalmente requerían inteligencia humana. La NASA utilizó la IA para que sustituyera la adopción de decisiones de los controladores de la misión situados en la Tierra, puesto que la demora de las telecomunicaciones entre la Tierra y Marte imposibilita la adopción de decisiones en tiempo real en las misiones robóticas.⁴⁵ Las invenciones sucesivas aumentaron la velocidad de procesamiento de las computadoras, aligeraron los chips y permitieron una mayor especialización del *software* integrado. Actualmente, la IA está incorporada a nuestro modo de vida. Las aplicaciones de navegación la utilizan para analizar la velocidad del tráfico en carretera; las aspiradoras inteligentes emplean IA para percibir el tamaño de una habitación, detectar obstáculos y definir el recorrido más eficiente; y la IA es indispensable para el funcionamiento de los vehículos autónomos de carretera.⁴⁶

Conclusiones del estudio de caso

La historia del programa espacial de los Estados Unidos de América es un ejemplo clásico de innovación orientada a una misión.⁴⁷ La labor de innovación también tenía rasgos específicos. El cliente principal era el Gobierno o uno de sus organismos. La NASA movilizó a las empresas privadas y las universidades de forma eficaz, puesto que armonizó sus metas y objetivos con sus actividades de investigación. Aunque la manera de proceder de la NASA ha cambiado respecto del grado de participación y autonomía que concede a los contratistas, todavía funciona de forma principalmente centralizada y define con exhaustividad las tareas específicas y precisas de los contratistas. Los programas espaciales son proyectos complejos que abarcan varios sectores de la tecnología. La función de la NASA ha sido coordinar y reunir a científicos e industrias de distintas disciplinas para que intercambien conocimientos y cumplan un objetivo común.

Las innovaciones orientadas a una misión aprovechan conocimientos de vanguardia para alcanzar objetivos concretos y bien definidos en un plazo específico.⁴⁸ La misión de la NASA para llegar a la Luna puede considerarse un éxito, puesto que se alcanzó el objetivo antes de que venciera el plazo original.⁴⁹ El criterio de la NASA se ha centrado predominantemente en articular y especificar los problemas y los obstáculos, en lugar de imponer soluciones a los contratistas. Además, recurrir a una variedad de conocimientos técnicos amplia y, a la vez, pertinente contribuyó a que

se hallaran soluciones que conectaron entre sí sectores de la tecnología que, de otro modo, no guardarían relación alguna. Otro punto fuerte del criterio de la NASA era la supervisión oportuna de la armonización de las acciones y de la asignación de recursos, para evitar desviarse del objetivo original. ¿Funcionaría un criterio similar para hacer frente a algunos de los grandes desafíos mundiales de la actualidad? En el capítulo 3 se profundiza en el análisis de las políticas de innovación que podrían ser necesarias.

La mayor parte de las innovaciones que surgieron de la NASA no fueron objeto de una demanda inmediata desde el ámbito civil para ampliar su producción con fines comerciales. Sin embargo, esas innovaciones resultaron ser incubadoras de varias tecnologías y sectores.⁵⁰ Aunque con grados distintos de demora, muchas de esas tecnologías han servido de base para aplicaciones civiles derivadas completamente inintencionadas que, sin embargo, revisten suma importancia. Los sensores dispositivos de acoplamiento de carga (CCD), que contienen cuadrículas de píxeles, se originaron en el objetivo de la NASA de diseñar y construir el telescopio espacial Hubble,⁵¹ un observatorio espacial que se lanzó al espacio por primera vez en 1990. Los sensores CCD, que permitieron captar imágenes de alta calidad del cielo profundo, constituyeron un sector de miles de millones de dólares y están presentes en productos de la vida cotidiana como las cámaras web o las cámaras de los teléfonos inteligentes. Este es un ejemplo de senda de innovación civil derivada de un programa de la NASA que no era directa ni predecible.

El breve ciclo de vida de la innovación de alta tecnología, unido a las políticas públicas intervencionistas, generó oportunidades de aprendizaje y convergencia económica

Los programas espaciales estadounidenses y soviéticos tuvieron un origen geopolítico. Sin embargo, varios de los programas que se iniciaron posteriormente en otros países tenían objetivos puramente comerciales y se centraban más en las aplicaciones que las innovaciones podían tener en las telecomunicaciones, la navegación y el sector satelital. Ejemplo de ello es la ESA, que se diferencia de la NASA principalmente por ese motivo. En los últimos años, varios otros países – grandes y pequeños –, entre ellos más de 20 países de África,⁵² se han unido a la exploración del espacio. La disminución de los costos de la tecnología satelital y el carácter “disruptivo” de su desarrollo (lo que significa que, como en las TI, es posible pasar por alto algunas etapas para facilitar la entrada de los últimos en llegar al mercado) han brindado oportunidades a las economías en desarrollo más modestas. El estudio de caso que figura a continuación profundiza en estos conceptos en el contexto del sector de las TI en Asia Oriental.

El proyecto de volver a la Luna está presente de nuevo en las agendas de las principales agencias espaciales, como la NASA o la ESA. Los objetivos técnicos pueden ser diferentes, pero sigue habiendo una presión competitiva, que esta vez procede del programa espacial de China. Además, los proyectos

previstos, como una misión en Marte o incluso la creación de asentamientos humanos permanentes en el planeta rojo, requieren una colaboración estrecha entre los gobiernos, las empresas privadas y las instituciones académicas. Será necesaria una cooperación para elaborar sistemas de propulsión, desarrollar tecnologías de protección de la radiación cósmica y hallar soluciones energéticas sostenibles. Lo mismo se aplica a proyectos como el cultivo de productos alimentarios en la Luna y la extracción de recursos lunares. No existe consenso acerca de si los programas espaciales son un uso eficiente de los recursos de I+D. Ahora bien, otra carrera espacial entre los Estados Unidos de América y China puede favorecer la creación de tecnologías innovadoras e impredecibles en los próximos decenios.

2.3 El auge de las tecnologías de la información en los países de Asia Oriental

El salto tecnológico hasta el liderazgo

La dirección de la innovación en las economías de Asia Oriental en los últimos 60 años está interrelacionada con la historia de su desarrollo y convergencia económica. Esas economías destacan por haber fomentado capacidades tecnológicas de vanguardia en varios sectores. En las décadas recientes, el surgimiento de líderes en innovación en un sector de TI entendido en sentido amplio ha sido un rasgo central y recurrente del desarrollo económico de la región. Por ejemplo, el auge industrial del Japón guarda una relación estrecha con el sector de la electrónica de consumo que comenzó a florecer en los años setenta y ochenta. Posteriormente, la República de Corea y la provincia china de Taiwán se convirtieron en innovadores y proveedores de primer orden de semiconductores y monitores para computadoras. El crecimiento más reciente de China se ha producido a la par que el auge de sus empresas de comunicaciones y de Internet.⁵³

Por todas partes han surgido empresas dedicadas a muchos de los avances científicos relacionados con los productos del sector de las TI y a la comercialización de esos productos. Sin embargo, las economías de Asia Oriental lograron adquirir los conocimientos en los que se basan esas tecnologías, “dar el salto tecnológico” hasta los ciclos de producción más novedosos y contribuir a la innovación de productos más avanzada del mundo. Tanto es así, que actualmente la región de Asia Oriental influye en gran medida en la dirección de la innovación en el sector de las TI a escala mundial.

Los rasgos del sector de las TI explican en parte la prosperidad de la región de Asia Oriental en este sector. Este se caracteriza por el rápido cambio tecnológico combinado con breves ciclos de vida de los productos,

y promete unos rendimientos rápidos y elevados de las inversiones. Una innovación frecuente puede tener como consecuencia que las tecnologías del momento queden obsoletas rápidamente, lo cual disminuye las barreras de entrada para los recién llegados. Otro factor destacado es el papel que desempeñan los gobiernos de Asia Oriental y las políticas de desarrollo que han fomentado la innovación en materia de TI en la región.

En el presente estudio de caso se examina brevemente la historia de las políticas industriales en la región, especialmente en China continental, la República de Corea y la provincia china de Taiwán. También se analizan los mecanismos que han permitido el desarrollo tecnológico del sector de las TI en esas economías. Además, se explica detalladamente cómo las oportunidades brindadas les permitieron dar el salto tecnológico a distintos subsectores de las TI. Por último, se estudia el papel de la PI en el desarrollo tecnológico en Asia Oriental.

Rápida modernización e inversión en alta tecnología

En los últimos decenios, se ha producido un crecimiento acelerado en Asia Oriental, especialmente en comparación con otras regiones, en particular, América Latina y África. El crecimiento de los países de Asia Oriental es constante, aunque se haya iniciado en momentos distintos, y se debe a la rápida modernización y a la inversión en alta tecnología. Los principales productos de TI que producían y exportaban las economías de Asia Oriental, inicialmente en el Japón en las décadas de los sesenta y los setenta, eran productos de consumo de gama baja que requerían mucha mano de obra, como radios, pequeñas calculadoras (analógicas), televisores y refrigeradores. Sin embargo, el breve ciclo de vida de los productos resultantes de la innovación de alta tecnología, junto con las políticas públicas intervencionistas que se describen más adelante, generaron oportunidades de aprendizaje y convergencia económica. En los años ochenta, países de Asia Oriental accedieron a los mercados de las computadoras personales, los videograbadores, los reproductores de casetes de audio y equipos de telecomunicaciones como los teléfonos fijos o las máquinas de fax. En los noventa llegaron los chips de memoria y los teléfonos celulares inalámbricos, y en la primera década del siglo XXI aparecieron varios productos digitales, como las televisiones digitales, los sistemas de telecomunicaciones inalámbricos y los teléfonos inteligentes.

Los economistas y los historiadores llevan mucho tiempo tratando de explicar el éxito asiático mediante distintos modelos, entre los que destacan la teoría de los “gansos voladores” y el Consenso “BeST” (Beijing, Seúl y Tokio)⁵⁴, que son los más citados.

El despegue de la economía del Japón entre 1955 y 1975 ocasionó un ascenso similar en la República de Corea y en la provincia china de Taiwán en los años setenta y ochenta. Según el modelo de los “gansos voladores”, el Japón es un modelo para las economías asiáticas vecinas en materia de políticas económicas y en calidad de proveedor de tecnología y financiación para una industrialización orientada a la exportación y con una alta concentración de mano de obra. Sin embargo, este modelo no explica el crecimiento de China a partir de 1980. El tamaño del mercado chino y la diversidad de sectores con distinto grado de desarrollo, junto con la complejidad de las relaciones entre el Gobierno central y las autoridades locales en China, hacían necesarios dos o más tipos de modelo.

Pueden observarse rasgos únicos en el caso de China si se analizan, por ejemplo, las estrategias utilizadas para aprender y obtener acceso a conocimientos extranjeros. En primer lugar, se ha hecho hincapié en la denominada “ingeniería avanzada”, según la cual los conocimientos científicos y tecnológicos nuevos o incipientes se adquieren en laboratorios universitarios y, posteriormente, se aplican en sentido descendente a la elaboración de productos comerciales. La ingeniería avanzada se observa, sobre todo, en la creación de empresas derivadas a partir de universidades chinas, que se estudia en mayor detalle más adelante. Este enfoque contrasta con la ingeniería inversa de la República de Corea y la provincia china de Taiwán,⁵⁵ en las que los conocimientos técnicos se desarrollaron en un proceso ascendente, mediante la autopsia de productos importados.⁵⁶ En segundo lugar, China ha adquirido tecnología y marcas mediante fusiones y adquisiciones internacionales.⁵⁷ Por último, ha utilizado el aprendizaje paralelo a partir de empresas de inversión extranjera directa para promover las empresas nacionales.⁵⁸ Puede considerarse que estos son los tres elementos del modelo “Beijing”, puesto que no han sido adoptados explícitamente en la República de Corea ni en la provincia china de Taiwán.⁵⁹

Pese a las variaciones, el desarrollo de todas las economías de Asia Oriental tiene elementos comunes, a saber, la convergencia económica, la promoción de las capacidades de las industrias y empresas privadas y las medidas públicas dirigidas a reducir los riesgos que conlleva para las empresas introducirse en nuevos sectores. Este es el modelo “BeST” (Beijing, Seúl y Tokio). Los gobiernos favorecieron el fortalecimiento de capacidades de las empresas de sus países por cuatro vías. En primer lugar, organizaron el acceso al conjunto de conocimientos y las oportunidades de aprendizaje existentes mediante consorcios e institutos públicos de investigación, por ejemplo. En segundo lugar, alentaron las actividades de exportación para integrarse en la economía mundial con el objetivo de adquirir otros conocimientos. En tercer lugar, los gobiernos seleccionaron los sectores o tecnologías que habrían de desarrollarse

y promovieron la sustitución de importaciones para que sus mercados fueran menos lucrativos para las empresas extranjeras. Por último, para evitar que las empresas se vieran limitadas a fabricar productos con márgenes estrechos o reducido valor añadido, los gobiernos fomentaron la mejora constante de las actividades de las empresas desde la perspectiva del valor añadido, tanto en un mismo sector como mediante el traslado a sectores novedosos que generaban más valor. Por ejemplo, empresas taiwanesas dejaron de producir calculadoras electrónicas para dedicarse a las computadoras portátiles, porque el primer sector había madurado y se estaba convirtiendo en un negocio con un bajo valor añadido.

¿Seguir una senda o abrir nuevas?

Las empresas pueden seguir distintas trayectorias para lograr la convergencia económica en el sector de las TI. Una de las vías consiste en evolucionar, esto es, dejar de ser un fabricante de equipo original (OEM) que produce componentes para otras empresas y convertirse en un fabricante de diseño original (ODM) dedicado tanto al diseño como a la producción. El último paso es llegar a ser un fabricante de marca original (OBM).⁶⁰ En la etapa inicial, un cliente –generalmente una empresa multinacional– subcontrata a varias OEM para que fabriquen un producto acabado de conformidad con determinadas características específicas. Los ODM, que están más avanzados desde el punto de vista tecnológico, pueden producir los componentes y, al mismo tiempo, gestionar la mayor parte del proceso de diseño del producto, mientras el cliente se encarga de las operaciones de mercadotecnia. A finales de los sesenta y en la década de los setenta, las empresas taiwanesas del sector de la televisión eran principalmente OEM. Cuando los ingenieros taiwaneses locales que trabajaban en esas empresas se familiarizaron con las competencias de diseño, se marcharon para crear sus propias empresas de fabricación de diseño original.

Los OBM crean su marca y se encargan de diseñar y fabricar productos nuevos, llevar a cabo actividades de I+D y gestionar las ventas y la distribución. Sin embargo, ascender de OEM a ODM y, luego, a OBM no es un proceso fácil ni directo, y no siempre tiene una estructura lineal. Las empresas pueden saltarse una etapa y comenzar directamente con la siguiente. Por ejemplo, muchas empresas surcoreanas de TI decidieron comenzar por la creación de marcas propias.

La transición y la convergencia económica pueden seguir los tres patrones que figuran a continuación.⁶¹ En un primer momento, se produce una convergencia “por seguimiento”, es decir, las empresas recién llegadas siguen la misma senda lineal de sus precursoras, pero tardan menos en recorrerla. El segundo patrón es el de la convergencia “por eliminación de etapas”, en el que las recién llegadas siguen esa senda, pero omiten

algunas etapas. El tercero consiste en la convergencia “por creación de senda”, que significa que las empresas recién llegadas abren su propia senda de desarrollo tecnológico. Por ejemplo, en los ochenta, cuando Samsung estudiaba la posibilidad de producir chips de memoria dinámica de acceso aleatorio (DRAM) de 16 kB, la tecnología estaba en un período de transición. Samsung aprovechó la oportunidad y se lanzó directamente a producir chips de DRAM de 64 kB. De este modo, se adelantó a otras empresas que, por inercia, aún no habían comenzado a producir DRAM de 64 kB.

En general, los procesos de convergencia industrial pueden estar estrechamente vinculados con las características de un sector concreto. En aquellos donde las innovaciones son infrecuentes y muy predecibles –lo cual no sucede en las TI–, tal vez sea suficiente que empresas privadas adopten las estrategias de seguimiento o de eliminación de etapas. Sin embargo, en sectores como el de las TI, en los que las tecnologías son muy dinámicas, conllevan riesgos elevados y requieren un gran volumen de capital, para lograr la convergencia puede ser necesaria la colaboración público-privada y una estrategia de creación de senda.

El papel del gobierno

En el contexto de Asia Oriental, el papel que desempeñan los gobiernos para influir en la dirección de la innovación se centra en la etapa de desarrollo y convergencia. El objetivo de las políticas públicas ha sido facilitar a las empresas privadas locales el acceso a los conocimientos existentes y reducir la incertidumbre a la que se enfrentan. Por ejemplo, en la República de Corea, las empresas privadas recibieron en sus inicios la ayuda de institutos públicos de investigación, que les concedían acceso gratuito o asequible a los resultados de sus actividades de I+D. También se les permitió participar en consorcios público-privados de I+D para realizar proyectos a gran escala de alto riesgo. En 1989, el Gobierno surcoreano creó un comité para la elaboración conjunta de televisores de alta definición en el que participaron 17 entidades que abarcaban empresas privadas, institutos públicos de investigación y universidades.

Además, los gobiernos asiáticos han concedido a empresas privadas locales subvenciones para la exportación, con el objetivo de favorecer su incorporación a la economía mundial y permitirles obtener más conocimientos. Otra intervención notable de los gobiernos fue la selección de sectores/tecnologías para promover su desarrollo y el fomento de la sustitución de importaciones. Para lograrlo, se controlaba el número de empresas que accedían a un sector determinado para garantizar que en este se obtuvieran unas ganancias estables. El control temprano ha sido uno de los elementos centrales de la política industrial japonesa.⁶²

El papel del sector privado

El sector privado también ha determinado en gran medida la dirección de la innovación en Asia Oriental. Pese a que cada país ha seguido un ritmo diferente, el sector local de TI ha logrado converger con empresas occidentales del sector y superarlas. La transición de las pequeñas y medianas empresas (pymes) taiwanesas, OEM transformadas en ODM, alcanzó su punto álgido en los años ochenta, en la era de la calculadora electrónica. Ello provocó que empresas como la taiwanesa Acer entraran en los mercados de las computadoras personales portátiles y los teléfonos portátiles (como se ha comentado).⁶³

Las empresas surcoreanas Samsung y LG son dos de las primeras empresas tecnológicas mundiales. Samsung, que en sus inicios era una empresa textil y de azúcar refinado, no entró en el mercado de la electrónica hasta 1969. Sin embargo, al poner énfasis en las economías de escala, la integración vertical y una inversión generosa en I+D, Samsung no solo se convirtió en un gran OEM, sino que llegó a ser uno de los principales OBM del mundo.

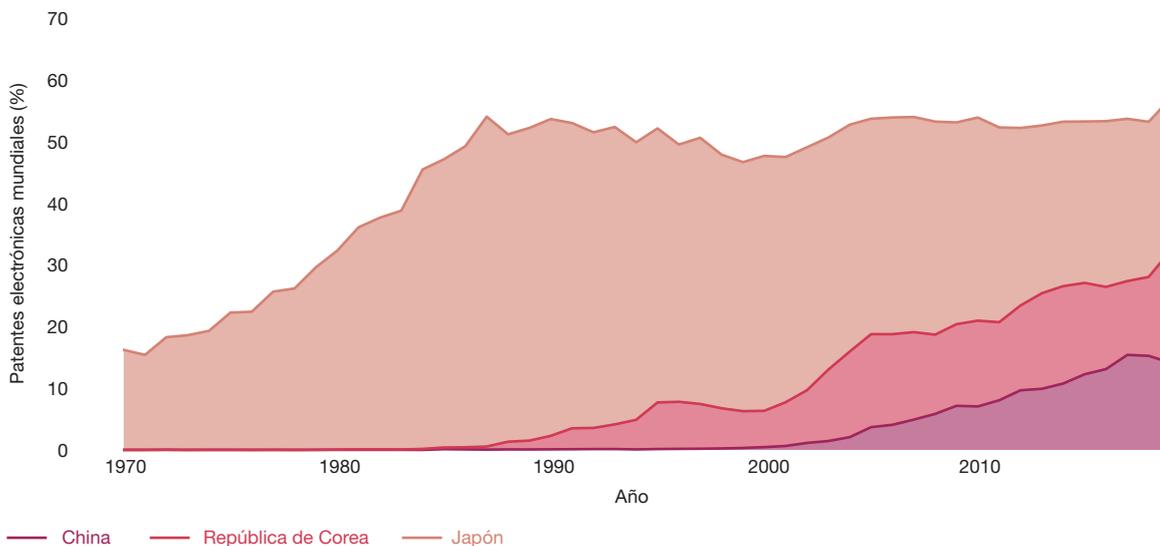
A finales del siglo XX, se observó un patrón similar en China, donde empresas como Huawei o ZTE evolucionaron hasta ser empresas OBM líderes mundiales. Más recientemente, China ha generado tres gigantes prósperos en el negocio de las plataformas, en el que las empresas aprovechan y crean en Internet extensas redes de usuarios y recursos a los que se puede acceder previa solicitud. Esas empresas –Baidu, Alibaba y Tencent–, que conducen a China a la era de la Cuarta Revolución Industrial, cuentan con una posición y un negocio comparables a los de Google, Amazon o Facebook.⁶⁴ Su excelente desempeño en los ámbitos de las plataformas y el comercio electrónico se debe a la combinación adecuada de competencias técnicas y un conocimiento profundo del gran mercado local chino. Dicho de otro modo, son notablemente ágiles tanto en el desarrollo de tecnología de vanguardia como en su adaptación al contexto chino.

El papel de las instituciones académicas

A lo largo de los años, los gobiernos de Asia Oriental han reforzado de forma extraordinaria los sistemas de educación, desde la escuela primaria hasta las universidades, lo cual ha aportado al sector empresarial una numerosa mano de obra cualificada. En los comienzos del auge tecnológico, esos gobiernos dieron apoyo a los estudiantes para que cursaran estudios de ingeniería y ciencia en el extranjero, pero con el tiempo han creado sistemas universitarios propios que son cada vez más sólidos. Ello ha requerido una inversión pública cuantiosa y constante. Por ejemplo, China ha hecho especial hincapié en las instituciones académicas y en la creación de conocimientos de ciencia básica. Este

En unos pocos decenios, las economías asiáticas dominaron la innovación mundial en el sector de las tecnologías electrónicas

Gráfico 2.3. Porcentaje de patentes electrónicas concedidas en determinados países de Asia Oriental respecto del total mundial (1970-2018)



Fuente: Oficina Europea de Patentes (OEP), Base Mundial de Datos sobre Estadísticas de Patentes (PATSTAT) (consultada en octubre de 2021).
 Nota: Basado en los sectores de la tecnología definidos por la OMPI, aplicados solo a las primeras solicitudes. Por "patentes electrónicas mundiales" se entiende las patentes presentadas en todo el mundo en los ámbitos de las tecnologías audiovisuales, procesos básicos de comunicación, tecnología informática, maquinaria eléctrica, aparatos y energía, métodos de TI para la gestión, semiconductores y telecomunicaciones.

país también se ha beneficiado de una "fuga de cerebros" inversa, ya que numerosos graduados chinos con diplomas de universidades occidentales vuelven a su país para enseñar o para fundar empresas.⁶⁵

Muchas universidades chinas cuentan con empresas propias, que difieren de las empresas derivadas ordinarias en que la universidad no solo las constituye, sino que también les proporciona el personal y la financiación y controla su dirección.⁶⁶ Un ejemplo de empresa derivada universitaria es Lenovo, multinacional tecnológica fundada en 1984 en Beijing por un equipo de 11 ingenieros del Instituto de Tecnología Informática de la Academia China de Ciencias. La primera sociedad de *software* cotizada también es una empresa derivada universitaria, Dongruan, que funciona bajo la administración de la Universidad Dongbei de Shenyang. Las universidades y el sector empresarial tienen una relación relativamente estrecha en China, a diferencia de lo que sucede en el Japón y la República de Corea, donde tradicionalmente la relación de las universidades con ese sector es débil e indirecta. En general, en Asia Oriental las instituciones académicas y científicas no han sido tan decisivas para el desarrollo económico como los organismos públicos y el sector privado, al menos en las primeras etapas de desarrollo de las economías.

El papel de los derechos de propiedad intelectual

Los derechos de propiedad intelectual son importantes en el ámbito de las TI porque los productos a menudo

están compuestos por un conjunto de elementos que se basan en una amplia variedad de tecnologías complejas. Esas tecnologías son acumulativas, avanzan rápidamente y tienen una vida útil breve. Las tecnologías incorporadas en los teléfonos inteligentes, que están compuestos por cerca de 2.000 piezas, abarcan desde semiconductores, baterías, memorias y almacenamiento, cámaras y sensores hasta tecnologías informáticas o de comunicación.⁶⁷

El titular de todas las patentes asociadas con esas tecnologías no es una única empresa. Sin embargo, las empresas de TI interesadas suelen contar con extensas carteras de patentes para reducir al mínimo la necesidad de recurrir a patentes de terceros y para aumentar los ingresos recibidos en concepto de regalías pagadas por las empresas cuya tecnología tal vez dependa de esas patentes.⁶⁸ Las economías de Asia Oriental fueron conscientes de ello y alentaron a sus empresas nacionales a obtener patentes a medida que se incorporaban al mercado mundial de TI y lograban situarse en una buena posición. Por ejemplo, en los años ochenta, el litigio de Texas Instruments contra Samsung en materia de semiconductores estimuló al Gobierno surcoreano y a Samsung a invertir grandes cantidades en patentes. El aumento de la concesión de patentes de TI en las economías de Asia Oriental se representa en el gráfico 2.3.

En los dos últimos decenios, la geografía de la titularidad de las patentes esenciales para cumplir con las normas técnicas (PEN) también ha cambiado progresivamente, influida por el surgimiento de

nuevas tecnologías y el crecimiento de las plataformas compartidas, como la Internet. Para fabricar un producto conforme a una norma técnica, los fabricantes necesitan recurrir a una PEN. Los titulares de PEN se comprometen a conceder licencias sobre ellas en condiciones justas, razonables y no discriminatorias (FRAND). En ocasiones, los titulares de PEN también fabrican un producto conforme a normas técnicas al que se han incorporado esas patentes de las que son titulares.⁶⁹

Las economías de Asia Oriental han llegado a encabezar las cifras de PEN relativas a varias nuevas tecnologías de TI, por ejemplo, la tecnología inalámbrica. Diversas tecnologías actuales y futuras dependen de la 5G, la quinta generación de las redes de telecomunicación móvil. Algunos ejemplos son los vehículos autónomos, los hogares inteligentes y los sistemas ponibles de vigilancia de la salud, que son algunos de los dispositivos y objetos que se denominan colectivamente Internet de las cosas (IdC). Las PEN necesarias para fabricar tecnologías de IdC y 5G pertenecen en su mayor parte a empresas de Asia Oriental (por ejemplo, LG, Samsung, Panasonic, ZTE, Huawei, Haier y NEC), seguidas por empresas estadounidenses (como Cisco, Microsoft, Google/Alphabet, Microsoft, Qualcomm, Apple o IBM) y europeas (Ericsson y Nokia).

Conclusiones del estudio de caso

Comprender la senda de innovación de las economías de Asia Oriental puede proporcionar ideas de valor incalculable para otras economías en desarrollo. En consecuencia, también es importante entender las particularidades. En primer lugar, pese a la rivalidad y las diferencias históricas entre las economías de Asia Oriental, los cambios tecnológicos acaecidos en una economía han acabado influyendo a los países vecinos. En segundo lugar, la convergencia tecnológica ha estado estrechamente vinculada con el auge del sector de las TI en la región. El cambio tecnológico en ese sector tiene características específicas que facilitan ese proceso. Las políticas públicas se adaptaron a esas características para promover la creación y el fortalecimiento de las capacidades en el sector privado. La mera reproducción de esas políticas en los contextos distintos de otros sectores no habría generado los mismos resultados. En el capítulo 1 se profundiza en esos conceptos al analizar las necesidades actuales de los países en desarrollo.

Los efectos del paradigma de desarrollo de Asia Oriental en la dirección mundial de la innovación también han sido muy importantes. Las economías de Asia Oriental han aportado al mercado mundial productos de TI de bajo costo. Además, al fabricar estos productos, han contribuido a lograr varias innovaciones graduales relativas a procesos y productos. Sin embargo, su contribución a la innovación no se

limita a esos aspectos. Al generar tecnologías de vanguardia, las economías de Asia Oriental también influyen en la dirección futura de la innovación en las revoluciones industriales tercera y cuarta.

2.4 Resumen y conclusiones del capítulo

La dirección de la innovación ha dado muchas vueltas, especialmente a partir de la segunda mitad del siglo XX. En el capítulo 1 se analizan los distintos elementos conceptuales que provocan los cambios de dirección. En el presente capítulo se exponen tres ejemplos históricos que ilustran esos elementos conceptuales, a saber, la Segunda Guerra Mundial, la carrera espacial y el auge del sector de las TI en Asia Oriental.

Las innovaciones procedentes de la labor de la OSRD y el CMR son ejemplos clarísimos de la innovación que surge de las crisis (que también tiene algunos elementos de la innovación orientada a una misión), mientras que el programa para llegar a la Luna representa un ejemplo arquetípico de innovación orientada a una misión. El auge de las TI en Asia Oriental es una historia clásica de desarrollo. Se observan algunas similitudes y diferencias entre los criterios y los métodos adoptados en cada ejemplo. La OSRD y la NASA adoptaron un criterio descendente y centralizado para responder a los problemas. Ambas contrataron universidades y empresas privadas para alcanzar sus objetivos. Además de proporcionar recursos humanos y capital físico y político, su contribución fundamental fue reunir, organizar y gestionar los distintos elementos de los que disponían. Es preciso insistir en la importancia de esta función. En ambos casos, la función principal del Gobierno era actuar como intermediario para facilitar la información, es decir, crear canales directos de comunicación y coordinación entre los participantes, lo cual disminuyó las redundancias y aumentó la eficiencia.

Una diferencia esencial entre los tres estudios de casos es el carácter de la demanda: Tanto en la Segunda Guerra Mundial como en la carrera espacial, el Gobierno de los Estados Unidos de América impulsó la demanda, puesto que era el primer y principal cliente. En cuanto al desarrollo de las TI en Asia Oriental, la demanda estaba marcada por los grandes mercados comerciales, tanto nacionales como extranjeros. El principal papel de los gobiernos de Asia Oriental fue prestar apoyo a las empresas privadas nacionales mediante políticas que reducían los riesgos y facilitaban el acceso a conocimientos de vanguardia. Otra diferencia fue la velocidad a la que la demanda debía satisfacerse. La urgencia de la guerra requería que la innovación se desarrollara rápidamente. Aunque la velocidad también era relevante en la competición astropolítica entre los Estados Unidos de América y la Unión Soviética, los calendarios de la

carrera espacial y de las innovaciones de TI de Asia Oriental fueron más prolongados. También existen diferencias relativas al carácter de las innovaciones derivadas y los sectores que surgieron posteriormente, así como al tiempo que tardaron en aparecer. Muchas de las innovaciones que fueron el resultado de la labor de la OSRD y el CMR, como las vacunas o la penicilina, hallaron inmediatamente mercados civiles al finalizar la Segunda Guerra Mundial. Las innovaciones resultantes de los programas espaciales, como la IA y los paneles solares, que estaban en la vanguardia científica del momento, tardaron más en despegar. Ahora bien, cuando lo hicieron, tuvieron repercusiones muy importantes. Muchas otras innovaciones creadas para el programa espacial eran muy específicas, por lo que prácticamente no tenían

aplicaciones comerciales directas (y siguen sin tenerlas en la actualidad). Sin embargo, las aplicaciones de las innovaciones a menudo fueron lo suficientemente genéricas para tener efectos a largo plazo en distintos productos y servicios comerciales.

Habida cuenta de los grandes desafíos mundiales, como el cambio climático, cuyas soluciones requieren nuevas ideas e innovaciones, es importante reconocer los momentos de la historia en los que la sociedad ha impulsado cambios tecnológicos radicales. Como se muestra en los tres estudios de casos, los gobiernos y los mercados pueden interactuar entre ellos de muchas maneras, lo cual, a su vez, puede tener repercusiones a corto y largo plazo en la dirección de la innovación.

Notas

- 1 Este estudio de caso está basado en Sampat (2022).
- 2 Véase Gross y Sampat (2020b).
- 3 Véase Gross y Sampat (2020b).
- 4 La agencia predecesora de la OSRD, el Comité de Investigación para la Defensa Nacional (NDRC), se creó en julio de 1940.
- 5 Véase Bush (1970).
- 6 Véase Gross y Sampat (2021).
- 7 Véase Gross y Sampat (2021).
- 8 Véase Neushul (1993).
- 9 Véase Neushul (1993).
- 10 Véase Achilladelis (1993) y OMPI (2015).
- 11 Véase Swann (1983).
- 12 Véase Brabin (2014).
- 13 Véase Andrus (1948).
- 14 Véase Slater (2009).
- 15 Gross y Sampat (2020a).
- 16 Véase Hoyt (2006).
- 17 Véase Hoyt (2006).
- 18 Véase Gross y Sampat (2021).
- 19 Véase Agarwal *et al.* (2021).
- 20 Véase Gross y Sampat (2021).
- 21 Véase OMPI (2015).
- 22 Véase Gross y Sampat (2021).
- 23 Véase Andrus (1948).
- 24 Véase Creager (1999).
- 25 Véase Creager (1999).
- 26 Véase Rasmussen (2002).
- 27 Véase Rasmussen (2002).
- 28 Véase Gross y Sampat (2021).
- 29 Véase Swain (1962) y Fox (1987).
- 30 Véase Fox (1987).
- 31 Este estudio de caso está basado en Hertzfeld *et al.* (2022).
- 32 Véase Smith (2011).
- 33 Consúltese <https://technology.nasa.gov/patent/TOP2-226>.
- 34 Consúltese [https://www.compositesworld.com/articles/composites-in-space\(2\)](https://www.compositesworld.com/articles/composites-in-space(2)).
- 35 Consúltese <https://www.nasa.gov/feature/50-years-ago-president-nixon-directs-nasa-to-build-the-space-shuttle>.
- 36 Véase Perlin (1999).
- 37 Véase O'Neill (2014) y consúltese [https://en.wikipedia.org/wiki/Opportunity_\(rover\)](https://en.wikipedia.org/wiki/Opportunity_(rover)).
- 38 Véase Bennett (2021).
- 39 Consúltese <https://www.energy.gov/ne/office-nuclear-energy>.
- 40 Véase Cataldo y Bennett (2011).
- 41 Consúltese la página web <https://www.usnews.com/education/best-colleges/slideshows/12-colleges-that-have-produced-the-most-astronauts>.
- 42 Véase Mathematica, Inc. (1976).
- 43 Véase “Se selecciona al MIT como contratista de *hardware* y *software*”, en el capítulo 2 de la publicación *Computers in Spacelight: The NASA Experience* (Computadoras en vuelos espaciales: La experiencia de la NASA), disponible en: <https://history.nasa.gov/computers/contents.html>.
- 44 Véase Ceruzzi (2015).
- 45 Véase Bluck (2004).
- 46 Véase OMPI (2019).
- 47 Véase Mazzucato (2018).
- 48 Véase Ergas (1987).
- 49 Véase Agarwal *et al.* (2021).
- 50 Véase Moeen y Agarwal (2017).
- 51 Véase Roy *et al.* (2019).
- 52 Consúltese la página web <https://www.economist.com/middle-east-and-africa/2021/06/17/africa-is-blasting-its-way-into-the-space-race>.
- 53 Véase Lee (2021).
- 54 Véase Lee y Mathews (2010).
- 55 Véase Eun *et al.* (2006).
- 56 Véase Kim (1997).
- 57 Véase Huang y Sharif (2015).
- 58 Véase Mu y Lee (2005).
- 59 Véase Lee *et al.* (2011).
- 60 Véase Hobday (1994).
- 61 Véase Lee y Lim (2001).
- 62 Véase Johnson (1982).
- 63 Véase Amsden y Chu (2003).
- 64 Véase Wang (2012).
- 65 Véase OMPI (2017).
- 66 Véase Eun *et al.* (2006).
- 67 Véase OMPI (2017).
- 68 Véase Hall y Ziedonis (2001).
- 69 Véase https://www.wipo.int/wipo_magazine/en/2015/03/article_0003.html.

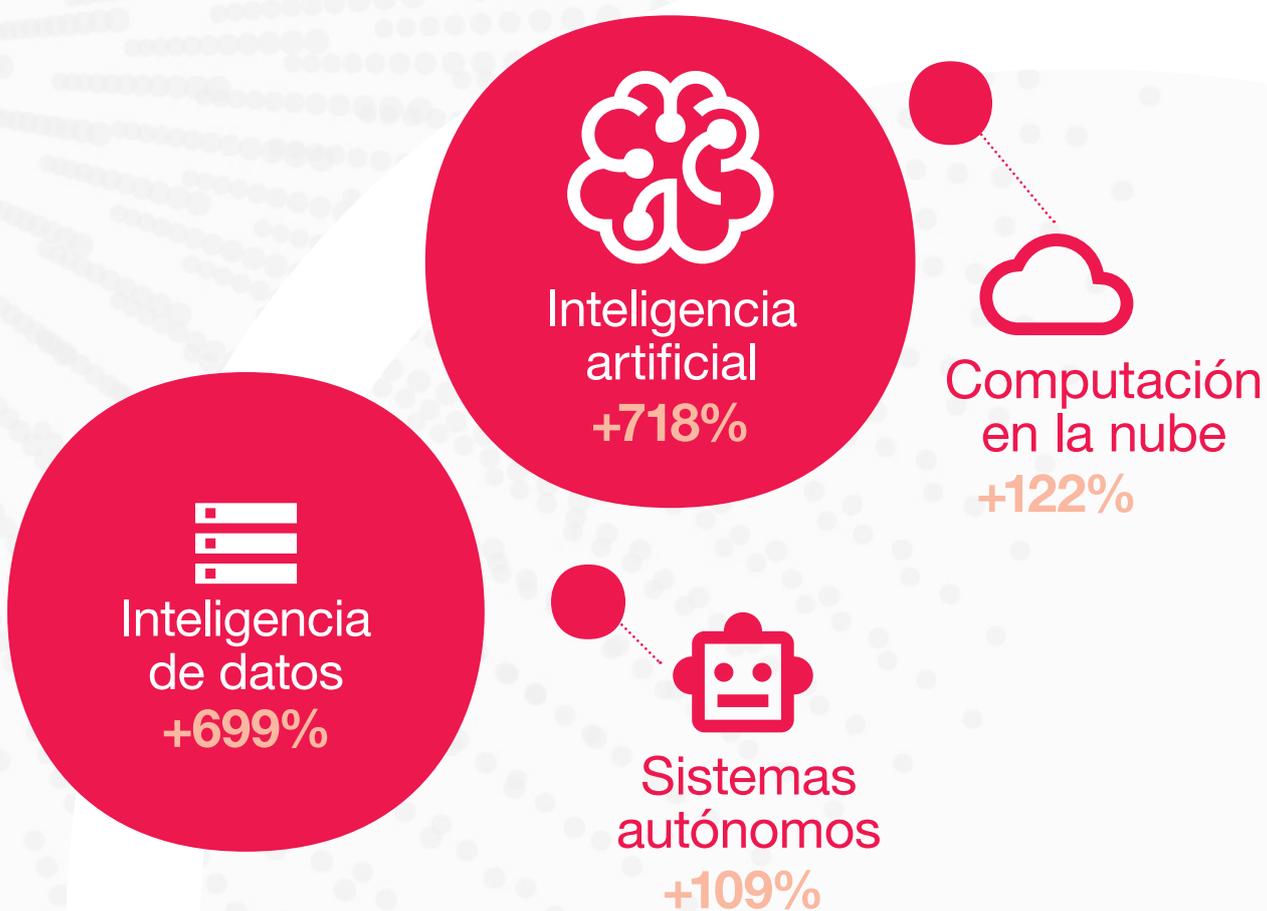
Referencias

- Achilladelis, B. (1993). The dynamics of technological innovation: The sector of antibacterial medicines. *Research Policy*, 22(4), 279–308.
- Agarwal, R., S. Kim and M. Moeen (2021). Leveraging private enterprise: Incubation of new industries to address the public sector’s mission-oriented grand challenges. *Strategy Science*, 6(4).
- Amsden, A. and W.-W. Chu (2003). *Beyond Late Development: Taiwan’s Upgrading Policies*. Cambridge, MA: MIT Press.
- Andrus, E.C. (1948). *Advances in Military Medicine, Made by American Investigators*. Little, Brown and Company.
- Bennett, L.G. (2021). Radioisotope power: Historical review. *Encyclopedia of Nuclear Energy*, 174–190. Amsterdam: Elsevier.
- Bluck, J. (2004). NASA develops robust artificial intelligence for planetary rovers. NASA. Available at: https://www.nasa.gov/vision/universe/roboticexplorers/robust_artificial_intelligence_jb.html.
- Brabin, B.J. (2014). Malaria’s contribution to World War One – The unexpected adversary. *Malaria Journal*, 13(1), 1–22.
- Bush, V. (1970). *Pieces of the Action*. Morrow.
- Cataldo, R.L. and G.L. Bennett (2011). US space radioisotope power systems and applications: Past, present and future. In Singh, N. (ed.) *Radioisotopes: Applications in Physical Sciences*. IntechOpen, 473–496.
- Ceruzzi, P. (2015). Apollo guidance computer and the first silicon chips. *Smithsonian National Air and Space Museum*. Available at: <https://airandspace.si.edu/stories/editorial/apollo-guidance-computer-and-first-silicon-chips>.
- Creager, A.N. (1999). What blood told Dr Cohn: World War II, plasma fractionation, and the growth of human blood research. *Studies in History and Philosophy of Science Part C: Studies in History and Philosophy of Biological and Biomedical Sciences*, 30(3), 377–405.
- Ergas, H. (1987). Does technology policy matter. In Guile, B.R. and H. Brooks (eds), *Technology and Global Industry: Companies and Nations in the World Economy*. Washington D.C.: National Academies Press, 191–245.
- Eun, J-H, K. Lee and G. Wu (2006). Explaining the “university-run enterprises” in China: A theoretical framework for university–industry relationship in developing countries and its application to China. *Research Policy*, 35(9), 1329–1346.
- Fox, D.M. (1987). The politics of the NIH extramural program, 1937–1950. *Journal of the History of Medicine and Allied Sciences*, 42(4), 447–466.
- Gross, D.P. and B.N. Sampat (2020a). Inventing the Endless Frontier: The Effects of the World War II Research Effort on Post-war Innovation. *Working Paper Series*, no. 27375. Cambridge, MA: National Bureau of Economic Research. DOI: <https://doi.org/10.3386/w27375>.
- Gross, D.P. and B.N. Sampat (2020b). Organizing Crisis Innovation: Lessons from World War II. *Working Paper Series*, no. 27909. Cambridge, MA: National Bureau of Economic Research. DOI: <https://doi.org/10.3386/w27909>.
- Gross, D.P. and B.N. Sampat (2021). Crisis Innovation Policy from World War II to COVID-19. *Working Paper Series*, no. 28915. Cambridge, MA: National Bureau of Economic Research. DOI: <https://doi.org/10.3386/w28915>.
- Hall, B.H. and R.H. Ziedonis (2001). The patent paradox revisited: An empirical study of patenting in the US semiconductor industry, 1979–1995. *Rand Journal of Economics*, 32(1), 101–128.
- Hertzfeld, H.R., B. Staats and G. Leaua (2022). Innovations in the Exploration of Outer Space, *WIPO Working Paper No. 71*, World Intellectual Property Organization
- Hobday, M. (1994). Export-led technology development in the four Dragons. *Development and Change*, 25(2), 333–361.
- Hoyt, K. (2006). Vaccine innovation: Lessons from World War II. *Journal of Public Health Policy*, 27(1), 38–57.
- Huang, C. and N. Sharif (2015). Global technology leadership: The case of China. *Science and Public Policy*, 43(1), 62–73.
- Johnson, C. (1982). *MITI and the Japanese Miracle: The Growth of Industrial Policy, 1925–1975*. Stanford University Press.
- Kim, L.S. (1997). *Imitation to Innovation: The Dynamics of Korea’s Technological Learning*. Boston, MA: Harvard Business School Press.
- Lee, K. (2021). (forthcoming), *China’s Technological Leapfrogging and Economic Catch-up*. Oxford University Press.
- Lee, K. (2022). Unpublished background research commissioned for the *World Intellectual Property Report 2022*. Geneva: World Intellectual Property Organization
- Lee, K. and C. Lim (2001). Technological regimes, catching-up and leapfrogging: Findings from the Korean industries. *Research Policy*, 30(3), 459–483.

- Lee, K. and J. Mathews (2010). From the Washington Consensus to the BeST Consensus for world development. *Asian-Pacific Economic Literature*, 24(1), 86–103.
- Lee, K., M. Jee and J.H. Eun (2011). Assessing China's economic catch-up at the firm level and beyond: Washington consensus, East Asian consensus and the Beijing model. *Industry and Innovation*, 18(5), 487–507.
- Mathematica, Inc. (1976). *Quantifying the Benefits to the National Economy from Secondary Applications of NASA Technology*. US National Aeronautics and Space Administration.
- Mazzucato, M. (2018). Mission-oriented innovation policies: Challenges and opportunities. *Industrial and Corporate Change*, 27(5), 803–815. DOI: <https://doi.org/10.1093/icc/dty034>.
- Moeen, M. and R. Agarwal (2017). Incubation of an industry: Heterogeneous knowledge bases and modes of value capture. *Strategic Management Journal*, 38(3), 566–587.
- Mu, Q. and K. Lee (2005). Knowledge diffusion, market segmentation and technological catch-up: The case of the telecommunication industry in China. *Research Policy*, 34(6), 759–783.
- Neushul, P. (1993). Science, government and the mass production of penicillin. *Journal of the History of Medicine and Allied Sciences*, 48(4), 371–395.
- O'Neill, I. (2014). Opportunity: The amazing self-cleaning Mars Rover. *Space*, April 2014. Available at: <https://www.space.com/25577-mars-rover-opportunity-solar-panels-clean.html>.
- Perlin, J. (1999). *From Space to Earth: The Story of Solar Electricity*. Earthscan.
- Rasmussen, N. (2002). Steroids in arms: Science, government, industry, and the hormones of the adrenal cortex in the United States, 1930–1950. *Medical History*, 46(3), 299–324.
- Roy, R., C.M. Lampert and M.B. Sarker (2019). The pre-commercialization emergence of the combination of product features in the charge-coupled device image sensor. *Strategic Entrepreneurship Journal*, 13(4), 448–477.
- Sampat, B. (2022). World War II and The Direction of Medical Innovation, *WIPO Working Paper No. 70*, World Intellectual Property Organization
- Slater, L. (2009). *War and Disease*. Rutgers University Press.
- Smith, B.L.R. (2011). *American Science Policy since World War II*. Washington D.C.: Brookings Institution Press.
- Swain, D.C. (1962). The rise of a research empire: NIH, 1930 to 1950. *Science*, 138(3546), 1233–1237.
- Swann, J.P. (1983). The search for synthetic penicillin during World War II. *The British Journal for the History of Science*, 16(2), 154–190.
- U.S. Government (2021) *Economic Report of the President*, Figure 8.1, p. 229
- Wang, X. (2012). Foreign direct investment and innovation in China's e-commerce sector. *Journal of Asian Economics*, 23(3), 288–301.
- WIPO (World Intellectual Property Organization) (2015). *World Intellectual Property Report 2015: Breakthrough Innovation and Economic Growth*. Geneva: WIPO. Available at: <https://www.wipo.int/publications/en/details.jsp?id=3995>.
- WIPO (2017). *World Intellectual Property Report 2017: Intangible Capital in Global Value Chains*. Geneva: WIPO. Available at: <https://www.wipo.int/publications/en/details.jsp?id=4225&plang=EN>.
- WIPO (2019). *World Intellectual Property Report 2019: The Geography of Innovation: Local Hotspots, Global Networks*. Geneva: WIPO. Available at: <https://www.wipo.int/publications/en/details.jsp?id=4467&plang=EN>.

Tecnologías digitales de rápido crecimiento

Actividad de concesión de patentes (2015-2020)



La dirección de la innovación: desafíos futuros

Al iniciarse la tercera década del siglo XXI, factores nuevos e influyentes orientan la dirección de la innovación en los ámbitos de la ciencia, la tecnología y la medicina. Si bien existen numerosos factores, tres de ellos destacan entre los demás.

En primer lugar, la pandemia de COVID-19 generó y, en parte, aceleró la demanda de nuevas tecnologías para hacer frente a la propagación del virus y tratar la enfermedad. Para responder al desafío, la comunidad científica y tecnológica, con la ayuda considerable de los gobiernos, elaboró varias vacunas en un tiempo récord. La crisis sanitaria mundial ha afectado profundamente la manera en la que las personas trabajan, viajan, se comunican y se entretienen. Es demasiado pronto para afirmar cómo será la “normalidad” tras la pandemia, pero muchos de los cambios están aquí para quedarse. La pandemia aceleró la digitalización (como se estudia más adelante) y acabó con muchos tabús sobre el trabajo y la vida social. Los innovadores intervinieron para suministrar las tecnologías necesarias para sostener la nueva situación, y seguirán haciéndolo en los años venideros.

En segundo lugar, la lucha contra el cambio climático se ha convertido en un asunto prioritario de las agendas políticas en todo el mundo. Para alcanzar los ambiciosos objetivos de reducción de las emisiones de carbono, será necesario adoptar tecnologías innovadoras. Las medidas políticas y la financiación pública darán cada vez más prioridad a las inversiones en nuevas tecnologías. De hecho, ya fomentan los indicios de progreso, como demuestra la bajada del precio de las tecnologías de energía renovable como los paneles solares. Sin embargo, no es suficiente. Facilitar la transición a la neutralidad en emisiones de carbono, de modo que se alcance un equilibrio entre el carbono emitido y el absorbido, será la motivación que guiará la actividad de los innovadores en los próximos decenios.

Por último, el tercer factor es la revolución digital, o lo que algunas personas anuncian como la Cuarta Revolución Industrial. A este respecto, se observa la generalización de las tecnologías digitales (digitalización), amplísimos conjuntos de datos (inteligencia de

datos) para analizar las tendencias y las interacciones humanas y procesos de automatización e IA más sofisticados que nunca. Todo ello son ejemplos de tecnologías de uso general, que son aquellas que pueden aplicarse en numerosas industrias y sectores y que pueden generar innovaciones derivadas novedosas y progresivas (véase el capítulo 1).¹ El aumento de esas nuevas tecnologías digitales de uso general y su carácter interconectado plantean cuestiones de seguridad nacional, debido a la posible vulnerabilidad de los sistemas de defensa a la piratería informática, por ejemplo. Los gobiernos, a su vez, han dado prioridad al fortalecimiento de la capacidad tecnológica nacional, lo cual ha favorecido una nueva generación de políticas industriales orientadas a la innovación en todo el mundo.

Teniendo en cuenta los factores mencionados, ¿qué dirección tomará la innovación? La mayor parte de las inversiones en innovación establecen objetivos finales bien definidos –como en el programa para llegar a la Luna (véase el capítulo 2)–, lo cual permite realizar predicciones sobre los cambios tecnológicos que se producirán a corto y medio plazo. Sin embargo, la trayectoria actual de la innovación sigue siendo incierta, pues algunos objetivos finales no se cumplirán y otros se superarán. Además, si algo puede aprenderse de la historia, los cambios a largo plazo en la dirección de la innovación y sus consecuencias socioeconómicas no pueden predecirse con seguridad.

En el presente capítulo se examinan en detalle los tres factores mencionados. Para ello, se analizan los cambios en los ecosistemas de innovación que reorientan la dirección de la innovación. Asimismo, se planteará la cuestión de cómo pueden las políticas públicas conducir la dirección de la innovación de manera que se atiendan de forma más satisfactoria las necesidades de la sociedad y se dé respuesta a los grandes desafíos mundiales.

El capítulo se divide en cuatro partes. En las tres secciones siguientes se presentan estudios de casos que muestran el modo en el que los ecosistemas de innovación hacen frente a algunos de los desafíos mundiales. En la sección 3.1 se examina la crisis de la COVID-19 y se destaca cómo la acción coordinada de los sectores público y privado dieron como resultado varias vacunas que ofrecían un grado elevado de protección contra el nuevo virus. Se subraya la importancia de contar con un ecosistema de innovación capaz de responder de forma similar en el futuro. La sección 3.2 se centra en la urgencia de hacer frente al cambio climático. Se estudian las características de este gran desafío y se pone de relieve que todas las partes interesadas importantes del sistema de innovación, incluidos los hogares, desempeñarán un papel en la solución al problema. En la sección 3.3 se estudia el aumento de las tecnologías digitales de uso general y el modo en el que pueden propiciar las innovaciones necesarias para satisfacer los distintos desafíos destacados en este capítulo. En la sección 3.4 se condensan algunas ideas importantes sobre los tres estudios de caso que ofrecen a los gobiernos y a los encargados de la formulación de políticas motivos para desempeñar un papel activo en la promoción de soluciones a los desafíos de la sociedad y, al mismo tiempo, actuar para mitigar los posibles efectos disruptivos de esas innovaciones en ámbitos como el empleo.² Por último, la sección 3.5 cierra el capítulo con algunos mensajes importantes relativos a las políticas.

3.1 Las lecciones extraídas de la crisis de la COVID-19

La propagación del virus SARS-CoV-2 en los primeros meses de 2020 conmocionó al mundo. El virus sobrecargó rápidamente las salas de urgencias y las unidades de cuidados intensivos de los hospitales y provocó un elevado número de muertes en un período relativamente breve. Según la Organización Mundial de la Salud, a 11 de enero de 2022, la COVID-19 había causado cerca de 5,5 millones de muertes.³ Se estima que el número real de fallecimientos supera esta cifra.

Los gobiernos impusieron medidas de contención y mitigación para detener o ralentizar la propagación del virus. Debido a las medidas de confinamiento, en muchos países se cerraron temporalmente las oficinas y las fábricas que no prestaban servicios esenciales y se prohibió a las personas salir de casa. Ello afectó negativamente a las actividades que requerían presencia física, muchas en el sector de los servicios.⁴ Numerosas empresas acabaron cerrando y muchas personas perdieron el empleo. Los economistas del Banco Mundial estimaron que 97 millones de personas cayeron en la pobreza en 2020 debido a la crisis.⁵ La economía mundial se contrajo un 3,2% en 2020 y se produjo probablemente la peor recesión desde la Segunda Guerra Mundial.⁶

La crisis de la COVID-19 apremió a todos los actores del ecosistema de innovación –gobiernos, sector privado, instituciones de investigación y universidades, comunidades internacionales, organizaciones no gubernamentales (ONG) y fundaciones filantrópicas– a reaccionar para hallar soluciones urgentes.

El gasto público fue un elemento fundamental del apoyo a la elaboración de las vacunas contra la COVID-19

Gráfico 3.1a. Proporción de los tipos de financiación de las vacunas contra la COVID-19

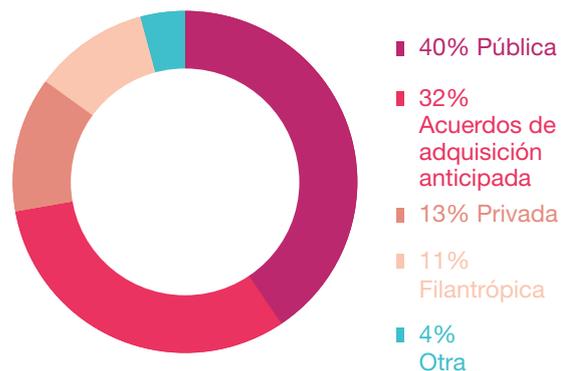
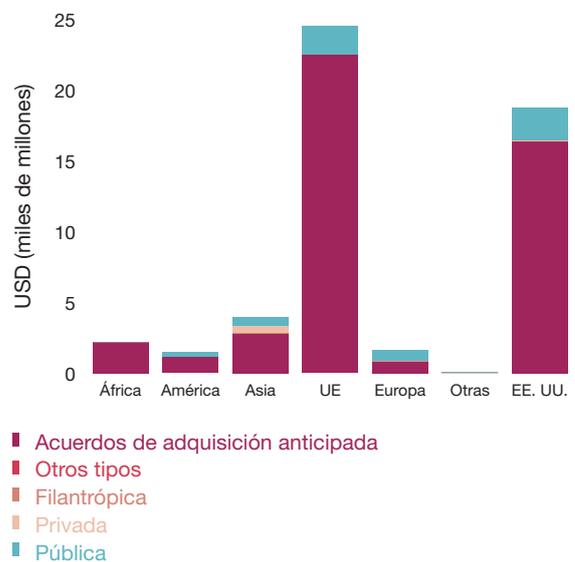


Gráfico 3.1b. Financiación de las vacunas contra la COVID-19 por tipo y región, en miles de millones de dólares de los Estados Unidos de América (USD)



Fuente: Global Health Centre (2021).
 Nota: Estos gráficos representan las inversiones destinadas específicamente a la COVID-19 por los sectores público y privado (sin contar las empresas farmacéuticas), filántropos y otros financiadores definidos por la base de datos del Global Health Center. Están basados en datos disponibles al público. Los datos relativos a la financiación privada están infrarrepresentados, puesto que no tienen en cuenta las empresas farmacéuticas. Los acuerdos de adquisición anticipada y las inversiones en investigación y desarrollo (I+D) pueden incluir la ampliación de la capacidad de fabricación y las inversiones dirigidas a fomentar los avances clínicos.

Fructífera colaboración público-privada

La acción coordinada de los participantes en el ecosistema mundial de innovación llevó a la elaboración de varias vacunas contra la COVID-19 en un plazo breve. Menos de dos años después de que se descubriera el primer caso el 31 de diciembre de 2019, en todo el mundo se suministraban 20 vacunas contra la COVID-19, 114 posibles vacunas estaban siendo sometidas a ensayos clínicos y 185 se encontraban en fase de desarrollo preclínico.⁷

La velocidad con la que se descubrieron, se probaron y se distribuyeron las vacunas contra la COVID-19 es un récord. A principios de enero de 2020, científicos chinos publicaron la cartografía de la secuencia genética del virus SARS-CoV-2.⁸ Tres meses después, cuatro empresas y una universidad habían hallado posibles vacunas. El 31 de agosto de 2020, las autoridades chinas aprobaron la primera vacuna contra la COVID-19, SinoVac.⁹ A principios de diciembre, la Agencia Reguladora de Medicamentos y Productos Sanitarios (MHRA) del Reino Unido aprobó la utilización de la vacuna de Pfizer-BioNTech (véase más adelante) en este país.

Cuatro factores explican por qué las vacunas pudieron elaborarse con tanta rapidez

En primer lugar, la magnitud de la pandemia y el hecho de que afectara a una elevada proporción de la población mundial crearon un incentivo importante para que el sector privado hallara una solución tecnológica. El tamaño del mercado es un factor importante de la innovación, especialmente en el ámbito de la medicina, porque, como se señala en el capítulo 1, cuanto mayor es el mercado, mayor es la posible recompensa.^{10,11} Para decidir si efectuar inversiones en I+D, los innovadores deben evaluar los posibles costos y riesgos de invertir en relación con los rendimientos esperados.

En segundo lugar, los gobiernos proporcionaron un importante apoyo financiero al sector privado, dirigido, en particular, a los ensayos clínicos y a los fabricantes de las posibles vacunas, con el objetivo de reforzar la capacidad de producción a gran escala. Por ejemplo, la Comisión Europea destinó 137,5 millones de euros a la I+D en materia de diagnóstico, terapias y vacunas, y 164 millones de euros a empresas emergentes y pymes dedicadas a hallar soluciones a la crisis sanitaria.¹² La Coalición para la Promoción de Innovaciones en pro de la Preparación ante Epidemias (CEPI), alianza mundial iniciada en 2017 para la elaboración de vacunas con la finalidad de detener epidemias futuras, aportó 1.300 millones de USD para la I+D centrada en las vacunas contra la COVID-19.¹³

Además, varios gobiernos se comprometieron a adquirir unas cantidades determinadas de esas

vacunas. Estos acuerdos de adquisición anticipada ayudaron a mitigar algunos de los riesgos comerciales de la elaboración de las posibles vacunas. Algunos de esos compromisos anticipados de mercado consistieron en pagos por adelantado que se abonaron incluso antes de que las posibles vacunas se sometieran a ensayos clínicos.

El apoyo público para superar la crisis también adoptó la forma de programas impulsados por el gobierno, como en los Estados Unidos de América y en el Reino Unido, similares a las políticas orientadas a una misión mencionadas en el capítulo 2.¹⁴ Esos programas se concibieron para acelerar la evaluación de la adecuación a las normas y para contribuir al hallazgo de una vacuna contra la COVID-19.¹⁵ Antes de la crisis, incluso desde la perspectiva más optimista, la elaboración y comercialización de una vacuna podía llevar como mínimo 18 meses.¹⁶ Normalmente, se tardaba entre cinco y diez años en encontrar las posibles vacunas prometedoras y obtener la aprobación reglamentaria.¹⁷ En el recuadro 3.1 se examina el programa estadounidense para la elaboración de vacunas contra la COVID-19 denominado Operación Warp Speed (OWS), mientras que en el recuadro 3.2 se pone de relieve el Grupo de Trabajo para las Vacunas (VTF) del Reino Unido.

Recuadro 3.1

La Operación Warp Speed aceleró la elaboración de vacunas

La Operación Warp Speed (OWS), que se puso en marcha el 15 de mayo de 2020, consistió en una asociación entre varios organismos dirigida por el Departamento de Salud y Servicios Humanos (HHS) y el Departamento de Defensa de los Estados Unidos de América (DoD). Su objetivo era acelerar la elaboración y la distribución de vacunas, tratamientos y métodos de diagnóstico seguros y eficaces contra el virus SARS-CoV-2 mediante la coordinación, la financiación y otras medidas de apoyo a los fabricantes de las posibles vacunas, principalmente en el sector privado.

La iniciativa se inspiró en el Proyecto Manhattan, un programa orientado a una misión específica que funcionó de 1942 a 1946.¹⁸ Este proyecto, que contó con una intensa inversión en I+D, reunió a científicos y militares para crear un arma nuclear en dos años y medio. Para la elaboración de la vacuna contra la COVID-19, la OWS adoptó el mismo método basado en la acción coordinada de I+D orientada a una misión y en una estructura de operación militar.¹⁹

Además, el programa de la OWS adoptó muchas de las mejores prácticas de la Agencia de Proyectos

de Investigación Avanzada para la Defensa (DARPA) del DoD.²⁰ Este organismo se creó en 1958 para reforzar la capacidad tecnológica de los Estados Unidos de América y competir contra la Unión Soviética en la carrera espacial para llegar a la Luna. Con este fin, estaba preparada para llevar a cabo proyectos de I+D con riesgo comercial. La Agencia logró desarrollar importantes tecnologías militares, algunas de las cuales tuvieron aplicaciones comerciales no militares (véase el capítulo 2). La OWS empleó el enfoque de cartera de la DARPA e invirtió en varios proyectos de vacunas que se basaban en tecnologías diferentes que competían entre ellas, si bien la inversión en I+D fue más cuantiosa y el programa tuvo una duración limitada y más breve.²¹ De este modo, aumentó las posibilidades de financiar al menos uno de los proyectos fructuosos y redujo el riesgo general de fracaso. Las empresas que dirigían los proyectos fructuosos de vacunas competían entre sí para llegar al mercado antes que las demás.

Uno de los aspectos novedosos e innovadores de la iniciativa era que los fabricantes de vacunas podían realizar de manera simultánea las distintas etapas de ensayos clínicos sin incumplir las estrictas normas de seguridad y eficacia establecidas por la Administración de Alimentos y Medicamentos (FDA) de los Estados Unidos de América. Normalmente, la elaboración de vacunas y medicamentos solo puede avanzar de una etapa a la siguiente si se cumplen todos los criterios de progreso. Los fabricantes de vacunas también pudieron comenzar rápidamente a fabricar los proyectos de vacuna con los resultados más prometedores de los ensayos clínicos, puesto que el programa ayudaba a crear la capacidad de fabricación a gran escala necesaria.²²

El programa adoptó el nombre de *Countermeasures Acceleration Group* (Grupo de Aceleración de Medidas) en 2021.

Recuadro 3.2

Ensayos clínicos y fabricación de vacunas facilitados por el grupo de trabajo

El Grupo de Trabajo para las Vacunas (VTF) se creó en abril de 2020 en el Reino Unido para tener acceso lo antes posible a las vacunas más prometedoras.²³ Se trata de una alianza entre el Ministerio de Negocios, Energía y Estrategia Industrial (BEIS) y el Ministerio de Sanidad y Atención Social (DHSC) y cuenta con nueve miembros directivos que proceden del sector privado.

Igual que el programa estadounidense OWS, el grupo de trabajo invirtió en una cartera de proyectos de vacunas prometedoras basados en tecnologías competidoras.²⁴ Las inversiones se realizaron en forma de financiación de I+D y acuerdos de adquisición anticipada con fabricantes de vacunas.

Mediante el registro de vacunación contra la COVID-19 del Servicio Nacional de Salud, el grupo de trabajo recibió la inscripción de voluntarios dispuestos a someterse a ensayos clínicos.²⁵ Asimismo, ayudó a crear normas de ensayo para poder comparar el grado de eficacia y protección entre las distintas posibles vacunas. La iniciativa financió la fabricación a gran escala de las vacunas. Oxford-AstraZeneca fue uno de los fabricantes de vacunas que recibió subvenciones para la fabricación temprana mediante esta campaña.²⁶

Habida cuenta de las limitaciones en la capacidad de fabricación de vacunas en el Reino Unido, el grupo de trabajo proporcionó financiación a fabricantes de vacunas extranjeros –como la empresa estadounidense Novavax, la francesa Valneva o la alemana Cure-Vac–, para que construyeran o ampliaran fábricas en el país. Esta iniciativa complementó la labor del Centro de Fabricación de Vacunas e Innovación del Gobierno británico, creado en 2018 para reforzar las medidas de respuesta a pandemias futuras.²⁷

En tercer lugar, los importantes avances en el ámbito de la biomedicina, que habían comenzado en la época dorada de las vacunas durante la Segunda Guerra Mundial y en la posguerra (véase el capítulo 2), contribuyeron a estimular la rápida elaboración de vacunas contra la COVID-19.²⁸ Se tardó poco en detectar el virus SARS-CoV-2 y secuenciar sus genes. La secuenciación abrió el camino a los ensayos con vacunas basadas en la tecnología de ácido ribonucleico mensajero (ARNm), que, como se explica en el capítulo 1, consiste en suministrar una porción de código genético del virus para estimular una respuesta inmunitaria y la producción de anticuerpos. Es

probable que esta tecnología transforme el proceso de innovación en la biomedicina, puesto que permite acelerar la elaboración de vacunas para enfermedades futuras y fomenta una mayor inversión en este método.

La tecnología de ARNm llevaba utilizándose o desarrollándose por lo menos un decenio antes de la pandemia de COVID-19. La agencia estadounidense DARPA es una de las organizaciones que apoyaba esas investigaciones.²⁹ Por lo tanto, los investigadores pudieron reorientar la labor rápidamente para encontrar posibles vacunas.

Por último, el cuarto factor consiste en que los científicos e investigadores que nunca habían trabajado juntos comenzaron a colaborar.³⁰ Algunos incluso se aventuraron en otros ámbitos de la ciencia para contribuir al empeño. Por ejemplo, los epidemiólogos cooperaron con los sociólogos y los economistas para comprender cómo se propagaba el virus y averiguar las maneras de contenerlo. Además, los investigadores intercambiaban abiertamente información sobre su labor, incluso antes de que someterla a revisión por pares, con la finalidad de acelerar la difusión de conocimientos entre científicos e investigadores. Todo ello contribuyó a difundir con rapidez los últimos hallazgos de las investigaciones.

La innovación en medicina³¹

Los efectos de la pandemia no se han limitado a la búsqueda inmediata de una vacuna eficaz, sino que han influido en la innovación en otros ámbitos de la investigación y la práctica médicas.

El cambio de dirección de la investigación médica

Como se ha señalado, la elaboración de vacunas contra la COVID-19 basadas en la tecnología del ARNm probablemente favorecerá los avances científicos y las invenciones farmacéuticas en el futuro. Desde mediados de la primera década del siglo XXI, los investigadores pronostican la que las tecnologías basadas en el ARNm serán un punto de inflexión.³² El funcionamiento de esa tecnología consiste en modificar el ARNm, un gen que “explica” al cuerpo cómo fabricar las proteínas que necesita. El ARNm modificado enseña al sistema inmunitario a producir anticuerpos para defenderse contra el virus SARS-CoV-2.

Esta tecnología pre-pandémica se había sometido a ensayo para la protección contra varias enfermedades infecciosas, como las causadas por el virus del Ébola o el del Zika. También se había utilizado en algunas investigaciones sobre el cáncer.³³ Ahora bien, además de las aplicaciones de carácter profiláctico, las principales empresas farmacéuticas no habían prestado gran atención al método basado en el ARNm. Ello

se debía, en parte, a que es menos probable que las empresas farmacéuticas inviertan en tratamientos preventivos como las vacunas.³⁴ Sin embargo, el éxito de las vacunas contra la COVID-19 basadas en el ARNm ha proporcionado pruebas contundentes de que el método funciona bien y podría tener otras aplicaciones. Para los pacientes, la tecnología de ARNm es eficiente y segura.³⁵ Para el fabricante, es menos costosa y más rápida que los métodos tradicionales, puesto que solo es necesario realizar pequeños ajustes en el proceso de producción para tratar una enfermedad distinta.

La eficacia de las vacunas de ARNm contra la COVID-19 puede marcar el inicio de una nueva era dorada para el desarrollo de vacunas. Además, los gobiernos de los Estados Unidos de América y del Reino Unido apoyan la construcción de instalaciones de fabricación a gran escala de componentes para otras vacunas de ARNm y promueven la investigación continuada de esa tecnología.

Sin embargo, la utilización y adopción a gran escala de esta tecnología novedosa todavía se enfrenta a varios obstáculos.³⁶ En primer lugar, crearla y distribuirla requiere una mano de obra muy cualificada y laboratorios de investigación bien equipados. En segundo lugar, el ARNm puede degradarse fácilmente si las condiciones de fabricación no son adecuadas, lo cual puede incrementar los costos de la producción. En tercer lugar, en muchos lugares del mundo no se dispone de la infraestructura necesaria para transportar y almacenar ARNm.

Además, centrar la atención en la tecnología de vacunas de ARNm puede perjudicar a otras investigaciones médicas (véase el capítulo 1, recuadro 1.1). Durante el confinamiento provocado por la COVID-19, muchos laboratorios de investigación desviaron sus objetivos de otras líneas de investigación para centrarse en la enfermedad por coronavirus. Algunas instituciones que no se dedicaban a esta enfermedad tuvieron que cerrar los laboratorios o restringir sus actividades. Algunas de ellas perdieron financiación. Muchas universidades e instituciones de investigación se vieron obligadas a definir otras prioridades y reasignar sus presupuestos.

No obstante, pasar de una línea de investigación a otra es costoso.³⁷ Hasta ahora, la redefinición de prioridades y los cambios en la financiación parecen haber retrasado el progreso de las investigaciones, en lugar de transformarlo por completo.³⁸ Según un estudio en el que se comparaba el número de nuevos estudios clínicos en función de las enfermedades entre 2019 y 2020, los ensayos centrados en la COVID-19 fueron posibles en detrimento de nuevos ensayos clínicos sobre otras enfermedades. Sin embargo, es posible que este fenómeno sea un simple aplazamiento.³⁹

Los importantes avances en el ámbito de la biomedicina, que habían comenzado en la época dorada de las vacunas durante la Segunda Guerra Mundial y en la posguerra, contribuyeron a estimular la rápida elaboración de vacunas contra la COVID-19

La velocidad con la que se elaboraron las vacunas contra la COVID-19 demuestra con cuánta rapidez pueden llegar al mercado las nuevas vacunas y medicamentos, sin dejar de cumplir las estrictas normas de seguridad.⁴⁰ Parece que habría motivos para afirmar que el tiempo promedio de elaboración de medicamentos en la industria podría acortarse entre cinco y diez años.

El éxito de los programas de elaboración de vacunas de los Estados Unidos de América y del Reino Unido influye a favor de la continuidad de las alianzas público-privadas para prevenir y tratar enfermedades como la COVID-19. Ambas iniciativas desempeñaron un papel decisivo al apoyar las tecnologías revolucionarias y su aplicación directa de la teoría a la práctica. Para ello, se invirtió en una cartera de tecnologías competidoras entre sí que aún no estaban totalmente probadas, y se promovió el aumento de las capacidades de fabricación que daban apoyo a la aplicación de esas tecnologías.

Transformación de la práctica médica

La pandemia ha acelerado la adopción de tecnologías digitales (véase la sección 3.3) por parte de médicos y hospitales. Según un informe de McKinsey

& Company de 2021, la transformación digital en la industria biofarmacéutica fue más importante en los diez primeros meses de la COVID-19 que en todo el decenio precedente.⁴¹ Las empresas del sector médico están modernizando sus sistemas para adoptar sistemas plenamente digitales, y cada vez utilizan más los datos para optimizar sus actividades. En Suiza, los pacientes pueden almacenar sus historias clínicas y pedir cita por medio de un portal médico en línea.

En cuanto a la asistencia sanitaria, cada vez más médicos utilizan plataformas digitales para diagnosticar y tratar a pacientes.⁴² Por ejemplo, durante el confinamiento de 2020, algunos médicos realizaron consultas exclusivamente mediante plataformas en línea de videoconferencia. Los hospitales se basan en el análisis del número de pacientes ingresados para gestionar mejor el personal y las camas de hospital. Aunque muchos de esos cambios ya estaban en curso, la pandemia generó una necesidad urgente de adoptar un funcionamiento digital y brindó la oportunidad de introducir las mejoras necesarias en esa esfera.

3.2 Responder a la urgencia del cambio climático⁴³

Los combustibles fósiles como fuente de energía para la electricidad y el transporte constituyen el factor atribuible a la actividad humana que más contribuye al cambio climático. Desde 1970, las emisiones de dióxido de carbono (CO₂) provocadas por la actividad humana, en especial la utilización de combustibles fósiles y los procesos industriales, han contribuido aproximadamente al 78% de las emisiones mundiales de gases de efecto invernadero (GEI).⁴⁴ Esos gases, entre los que se cuentan el CO₂, el metano y el óxido nitroso, absorben y vuelven a emitir el calor hacia la atmósfera, lo cual afecta a la velocidad con la que cambia el clima. Cuanto más rápidos sean los cambios en el clima, mayores serán las repercusiones en todo el mundo, puesto que habrá menos tiempo para adaptarse a las transformaciones.

El calentamiento global menoscaba el crecimiento económico mundial y, lo que es más importante, la sostenibilidad de la vida en la Tierra. Amenaza la seguridad alimentaria y el acceso al agua limpia, y provoca fenómenos meteorológicos extremos y el aumento del nivel del mar. También perjudica al crecimiento de las plantas, lo cual, a su vez, afecta a la capacidad de la naturaleza para regular el CO₂ de la atmósfera. El Banco Mundial estima que el costo anual global de los fenómenos climáticos extremos es de 520.000 millones de USD en concepto de pérdida de bienestar, lo que refleja los efectos desproporcionados del cambio climático en los más pobres; cada año, 26 millones de personas caen en la pobreza.⁴⁵

Los gobiernos están sometidos a una presión cada vez mayor para que respondan al cambio climático. De conformidad con el Acuerdo de París de 2015, 196 países se comprometieron a limitar el aumento de la temperatura mundial a menos de 2 grados Celsius (°C) a finales de siglo y, preferiblemente, a detener el aumento en 1,5 °C.⁴⁶ Las partes signatarias reiteraron ese compromiso seis años después en Glasgow (Escocia), y algunas de ellas, como la Argentina, China, los Estados Unidos de América, el Reino Unido, Sudáfrica y la Unión Europea (UE) prometieron endurecer los planes en vigor para limitar las emisiones.⁴⁷ Por ejemplo, de aquí a 2030 la UE tratará de reducir las emisiones de gases de efecto invernadero por lo menos un 55%, en lugar del 40% propuesto inicialmente. Numerosos países –que representan el 80% de la economía mundial– han anunciado el objetivo de alcanzar cero emisiones netas en 2050, y grandes emisores como China y la India han establecido límites similares con el plazo de 2060 y 2070, respectivamente.

Progreso hacia el cambio

Tanto los gobiernos como el sector privado han logrado avances para dirigir la innovación hacia las tecnologías que reducen los efectos negativos de la actividad económica en el medio ambiente. Algunas de ellas son las tecnologías de mitigación del cambio climático que pueden utilizarse en los sectores de la energía, el transporte y la construcción, y las tecnologías de

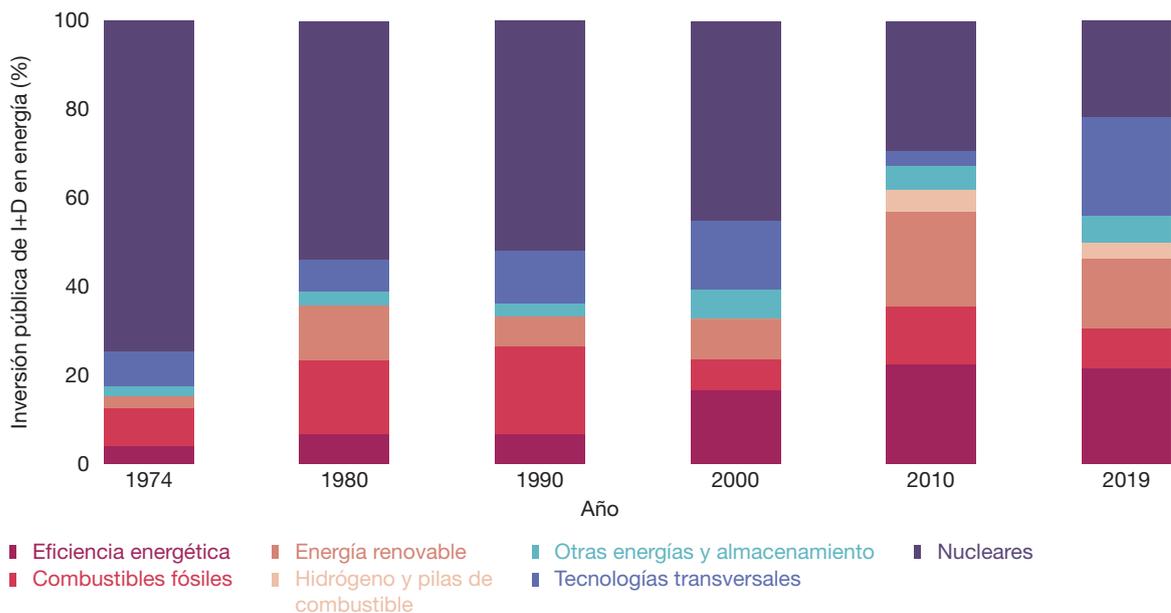
gestión medioambiental y de adaptación a las condiciones hídricas.

El objetivo de las tecnologías de mitigación es reducir las emisiones de gases de efecto invernadero, mejorar la eficiencia energética, mejorar el uso de los recursos, reducir al mínimo los desechos y aumentar la reutilización y el reciclaje.⁴⁸ Las denominadas tecnologías de baja emisión de carbono generan menos emisiones de CO₂ que la energía producida con combustibles fósiles. En el ámbito del transporte, un ejemplo serían los vehículos eléctricos (véase más adelante). En cuanto a la producción de energía, algunos ejemplos son la energía solar fotovoltaica, los generadores eólicos y las centrales eléctricas de carbón provistas de instalaciones de captura y almacenamiento de carbono.⁴⁹ Para reducir las emisiones de CO₂, las tecnologías de remoción y captura de dióxido de carbono –como las instalaciones de almacenamiento de las centrales eléctricas– capturan y almacenan los gases en depósitos (geológicos, terrestres u oceánicos) o en materiales como la madera.⁵⁰

Los gobiernos de las economías desarrolladas, principalmente, y China más recientemente promueven las tecnologías ambientales mediante subvenciones, reglamentos y normas. En respuesta, cada vez más empresas invierten en estas tecnologías y las adoptan. Cabe señalar que la voluntad duradera de los gobiernos de establecer políticas medioambientales transmite a las empresas una confianza importante para que ellas también puedan invertir a largo plazo en tecnologías de baja emisión de carbono.

La composición cambiante de la financiación pública de I+D en energía

Gráfico 3.2. Proporción de la inversión pública de I+D en energía, expresada mediante el porcentaje dedicado a cada tecnología (1974-2019)



Fuente: Agencia Internacional de Energía (AIE) (2020a).

Nota: Las tecnologías transversales son aquellas que pueden aplicarse a varios sectores energéticos, como los combustibles fósiles, otras energías y almacenamiento, etc. La Oficina de Ciencia del Departamento de Energía (DoE) de los Estados Unidos de América las enmarca en la ciencia energética básica.

Financiación de alternativas

Los gobiernos financian la I+D relativa a las fuentes de energía alternativa desde la década de los setenta. En el contexto del programa para llegar a la Luna (véase el capítulo 2), los Estados Unidos de América comenzaron a experimentar con fuentes de energía como los paneles solares fotovoltaicos y los aerogeneradores. Al mismo tiempo, el aumento drástico de los precios del petróleo entre 1973 y 1979 supuso una amenaza para el crecimiento económico en Europa y América del Norte y planteó problemas de seguridad energética. Esta situación provocó que países como Francia o el Brasil financiaran investigaciones en materia de energía nuclear y etanol, respectivamente, mientras que el Japón inició programas de eficiencia energética.

Los gobiernos contribuyeron a mitigar algunos de los riesgos y las incertidumbres asociados con la inversión en las nuevas tecnologías de energía alternativa, que en cierta medida no se habían sometido a ensayos. En Alemania, se considera que las subvenciones y las políticas de tarifas reguladas (véase el recuadro 3.3) de los años noventa dieron un primer impulso a la demanda de tecnologías solares.⁵¹ Además, el apoyo del Gobierno fue fundamental para desarrollar y demostrar la aplicación práctica de las nuevas tecnologías y, por lo tanto, sus posibilidades de comercialización.

Estudios muestran que la financiación pública de las iniciativas afectó positivamente a los índices y la dirección de la innovación medioambiental en la UE y en los Estados Unidos de América.⁵² Las subvenciones concedidas en los países de la UE facilitaron la producción de electricidad mediante energía solar y eólica, puesto que redujeron los costos de las empresas relativos al desarrollo de la tecnología.⁵³ De acuerdo con investigadores del Imperial College London, en 2025 la mayor parte de los parques eólicos marítimos en Europa podrían funcionar sin necesidad de recibir subvenciones.⁵⁴

El gráfico 3.2 muestra que la financiación pública mundial de I+D en fuentes de energía ha ido alejándose de los combustibles fósiles a partir de mediados de los setenta. De acuerdo con la Agencia Internacional de Energía (AIE), en la segunda década del siglo XXI, la financiación pública de los combustibles fósiles se redujo casi a la mitad, es decir, pasó del 13% al 7% del gasto total en I+D en el ámbito de la energía.⁵⁵

Normas, leyes y reglamentos

Como se ha señalado, las normas, las leyes y los reglamentos establecidos por los gobiernos desempeñan un papel fundamental en la adopción de tecnologías ambientales por parte de la industria y los hogares. El número de políticas formuladas para fomentar la adopción y la difusión de las tecnologías ambientales ha aumentado de forma constante.⁵⁶ A escala local,

ese tipo de políticas han consistido en subvenciones para instalar paneles solares en los tejados, construir casas y edificios energéticamente eficientes y adquirir bicicletas y vehículos eléctricos. En respuesta, las comunidades pequeñas, los agricultores, los municipios y los productores y hogares con conciencia ambiental se han diversificado y orientado hacia el uso de tecnologías ambientales.⁵⁷

Sin embargo, los efectos de esas políticas varían en función del tipo de incentivo –o mecanismo de estímulo– empleado (véase el recuadro 3.3).⁵⁸ Las tecnologías en una etapa temprana de desarrollo (investigación científica básica o aplicada) suelen ser más inciertas en cuanto a su resultado, por lo que pueden necesitar financiación pública para mitigar los riesgos.⁵⁹ Por ejemplo, construir y mantener tecnologías de remoción de dióxido de carbono es costoso. Aunque se haya demostrado que esas tecnologías funcionan, lo que se denomina “prueba de concepto”, fabricarlas a gran escala es arriesgado. Sin embargo, en 2021 se anunció la creación, con respaldo público, de más de 100 instalaciones de captura y almacenamiento de carbono.⁶⁰

En el recuadro 3.3 se explica cómo los distintos mecanismos de estímulo afectan a la innovación en tecnologías de baja emisión de carbono. Dichos mecanismos son políticas dirigidas a provocar una conducta concreta que, sin esas medidas, no se producirían. En relación con las políticas medioambientales, se alienta a los participantes en el ecosistema de innovación a que elaboren tecnologías (tanto productos como procesos) que disminuyan las emisiones de carbono, como las tecnologías de baja emisión de carbono o las tecnologías de mitigación del cambio climático.

Otros mecanismos, como los impuestos sobre las emisiones de carbono, facilitan la adopción de tecnologías ambientales e inducen a los consumidores a no depender de los combustibles fósiles. Según el Banco Mundial, en la actualidad cerca de 45 países tienen en marcha iniciativas de fijación del precio del carbono, ya sea mediante sistemas de comercio de derechos de emisión, fondos de reducción de emisiones, impuestos sobre el carbono o variaciones de estas medidas.⁶¹ Además, según la Convención Marco de las Naciones Unidas sobre el Cambio Climático (CMNUCC), aproximadamente 100 países están estudiando la posibilidad de adoptar estrategias nacionales de fijación del precio del carbono con el objetivo de reducir las emisiones de dióxido de carbono.⁶²

Recuadro 3.3

Mecanismos de estímulo y tipos de innovación

Los estudios sobre las políticas de lucha contra el cambio climático suelen coincidir en que los mecanismos de estímulo más eficaces son los que

inciden en el mercado. Ejemplos de ello son las políticas de fijación del precio del carbono, como los impuestos sobre el carbono y los sistemas de comercio de derechos de emisión. Las empresas deben contabilizar las emisiones de carbono como costos de producción, que pueden aumentar si siguen basándose en tecnologías con altas emisiones de carbono. Esto incentiva a las empresas a invertir en tecnologías de baja emisión de carbono y les facilita el abandono de aquellas con altas emisiones. Esa inversión en tecnologías de bajas emisiones de carbono contribuye a crear demanda y un mercado para ellas. Además, los gobiernos a menudo reciben ingresos mediante las políticas de fijación del precio del carbono, especialmente en relación con los permisos de emisión. Esto significa que es menos probable que se eliminen repentinamente las políticas de fijación del precio del carbono en comparación con, por ejemplo, las subvenciones, que pueden variar en función de los ciclos electorales y presupuestarios. Para las empresas, la aplicación de políticas de fijación del precio del carbono que penalizan las actividades con altas emisiones de carbono puede indicar que el gobierno tiene la voluntad duradera de establecer políticas de reducción de las emisiones de carbono.⁶³

Sin embargo, incluso las políticas basadas en los mercados pueden plantear problemas. El Gobierno alemán recurrió a este tipo de políticas para incentivar las inversiones en tecnología solar fotovoltaica como fuente de energía. Inicialmente, estableció tarifas reguladas para asegurarse de que los precios de la electricidad generada mediante energía solar fueran superiores a los de la electricidad procedente de los combustibles fósiles convencionales.⁶⁴

Sin embargo, las tarifas reguladas acarrearán dos desventajas importantes. En primer lugar, ocultaban el precio “real” de la electricidad generada por energía solar. En segundo lugar, no siempre lograban animar a las empresas a reducir los costos de producción.

Actualmente, los encargados de la regulación complementan las tarifas reguladas con subastas u otros mecanismos competitivos. Por ejemplo, en el sistema alemán de licitaciones o acuerdos de compra de energía, varios fabricantes de energía solar fotovoltaica presentaron ofertas de proyectos de generación de nuevas energías y finalmente se seleccionó la oferta más competitiva en cuanto a los costos. Habida cuenta de que la competencia se basa en el precio, los proveedores y los promotores de proyectos tienen motivos para reducir los costos, lo cual puede beneficiar a toda la cadena de valor.

Otro ejemplo de que los incentivos basados en el mercado no siempre funcionan es la relación entre

los inquilinos y los propietarios de los edificios energéticamente eficientes. Si el costo de la factura energética lo asume el arrendatario, el propietario del apartamento o casa no tendrá incentivos para invertir en tecnologías de ahorro de energía, como técnicas de aislamiento o dispositivos de eficiencia energética. En este caso, las normas de rendimiento energético funcionan mejor que los impuestos sobre la energía para estimular la aplicación de las innovaciones medioambientales en los edificios.⁶⁵

Fuente: Noailly (2022), Popp (2019) y Popp *et al.* (2010).

Uno de los aspectos negativos de las políticas basadas en el mercado es que están centradas en las tecnologías e innovaciones próximas a la comercialización –aquellas cuya viabilidad ha sido demostrada– y no siempre estimulan la aparición de ideas nuevas. La ayuda del gobierno, ya consista en financiar proyectos piloto para probar ideas o en prestar apoyo tecnológico para desarrollarlas, tal vez sea más apropiada para las tecnologías de baja emisión de carbono que conllevan un riesgo comercial, como las instalaciones de captura de carbono a gran escala. La inversión en nuevas tecnologías y en su desarrollo suelen requerir la participación del gobierno, con la cooperación de las universidades y el sector privado.

Las tecnologías energéticas de mitigación del cambio climático son las tecnologías limpias que más rápido crecen

Gráfico 3.3a. Número total de patentes de tecnologías limpias, clasificadas por categorías

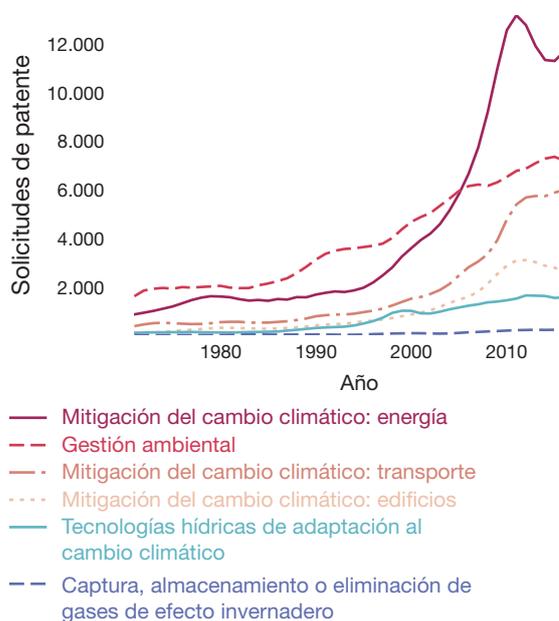
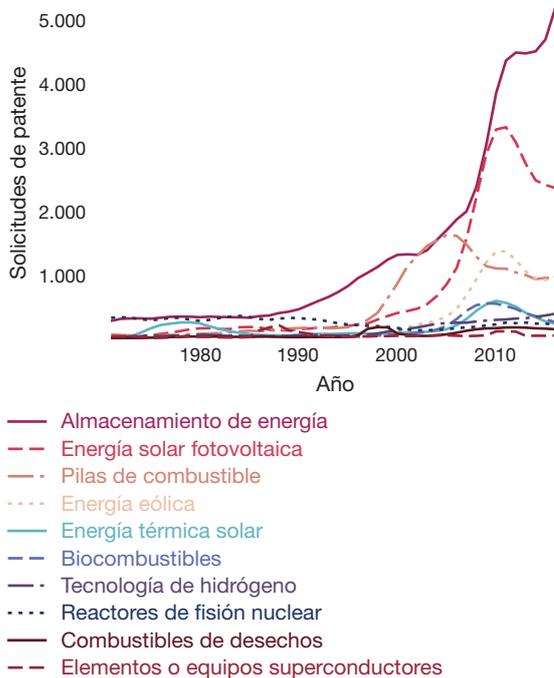


Gráfico 3.3b. Tecnologías energéticas de mitigación del cambio climático, clasificadas por subcategorías



Fuente: OMPI.
 Nota: Las solicitudes de patente se refieren a los documentos de patente presentados en al menos dos oficinas de PI.

En muchos países, la legislación aprobada para incentivar la adopción de tecnologías de baja emisión de carbono creó demanda para esas tecnologías. Según

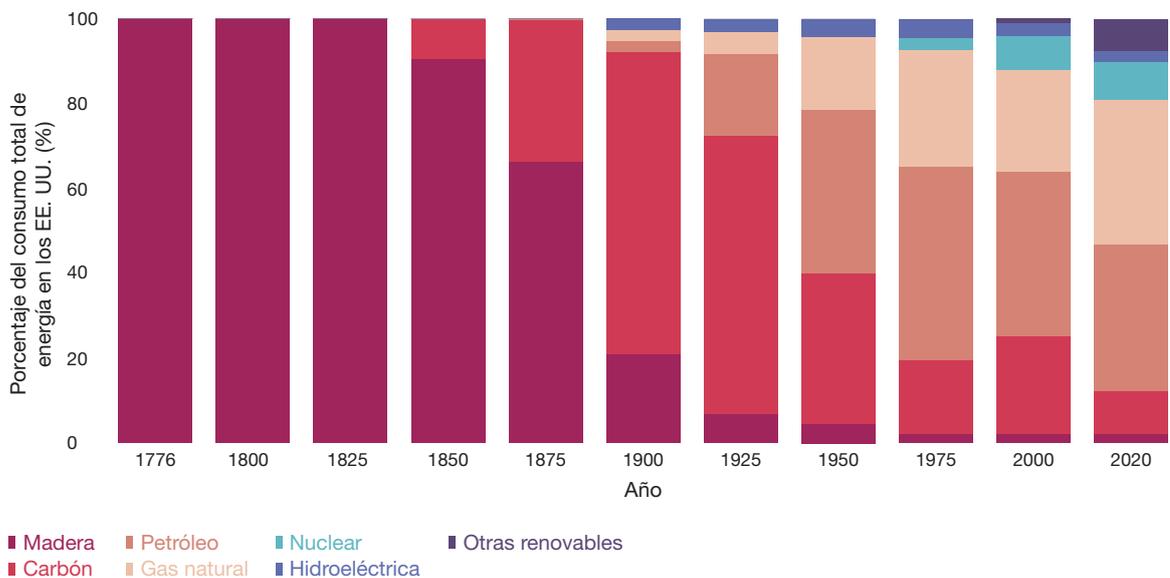
la Agencia Internacional de Energías Renovables (IRENA), entre 2013 y 2018, el 86% de las inversiones mundiales en energía renovable procedió del sector privado.⁶⁶

Avances en las fuentes de energía alternativa

Las solicitudes de patente pueden servir para ilustrar de forma aproximada la inversión privada de I+D en tecnologías de baja emisión de carbono. En el gráfico 3.3, el aumento drástico del número de solicitudes de patente presentadas a partir del año 2000 puede atribuirse al crecimiento de esas tecnologías en el sector energético. Un análisis más detallado muestra que están relacionadas con las fuentes de energía renovable, como la solar, la eólica o las pilas de combustible, que son baterías que no se agotan ni necesitan recargarse. Las fuentes de energía renovable representan una tercera parte del crecimiento de las solicitudes de patente presentadas en este ámbito. Además del aumento de las patentes de energías renovables, se ha observado un crecimiento de las tecnologías instrumentales, como las baterías, el hidrógeno —que es una de las mejores opciones para almacenar la energía renovable— y las redes eléctricas inteligentes. Estas tecnologías mejoran la fiabilidad del suministro de energía, puesto que facilitan que las redes eléctricas existentes compensen con fuentes de energía renovable las fluctuaciones en el suministro causadas, por ejemplo, por condiciones meteorológicas desfavorables.

En los Estados Unidos de América se diversifican cada vez más las fuentes de energía

Gráfico 3.4. Proporción de las principales fuentes de energía en relación con el consumo total de energía en los Estados Unidos de América



Fuente: Administración de Información Energética (abril de 2021).
 Nota: La expresión "otras renovables" se refiere a la energía solar, la eólica, la geotérmica y la basada en biocombustibles.

Los estudios centrados en analizar quién es el responsable la mayor parte de la innovación en tecnologías de baja emisión de carbono concluyen que la mayoría de las tecnologías disruptivas –las que provocan que las tecnologías existentes queden obsoletas, como los teléfonos móviles en el ámbito de las telecomunicaciones– tiene su origen en pequeñas empresas, no en las grandes. Climeworks, una empresa emergente nacida del Instituto Federal Suizo de Tecnología, con sede en Zúrich, ha construido en Islandia la central más grande del mundo para la captura y el almacenamiento de carbono “directamente desde el aire”. Se espera que la central Orca, que terminó de construirse en el verano de 2021, recoja anualmente 4.000 toneladas de CO₂, que quedarán almacenadas bajo tierra. Como sucede con muchas tecnologías disruptivas en este ámbito, el funcionamiento de Orca es costoso y es posible que no genere rendimientos durante un tiempo. Ello explica por qué las empresas actuales pueden mostrarse reticentes a invertir en este tipo de innovación.⁶⁷

Las grandes empresas, que operan principalmente en los sectores del petróleo y del gas, también son innovadoras activas en relación con las tecnologías de baja emisión de carbono. Sin embargo, sus innovaciones suelen centrarse en seguir utilizando las tecnologías existentes relacionadas con combustibles fósiles, y ampliarlas con instalaciones de captura y almacenamiento de carbono para eliminar las emisiones de carbono.⁶⁸ Estas representan algo más de una tercera parte de las inversiones mundiales de capital en proyectos de captura, almacenamiento y utilización de carbono.⁶⁹

Los avances logrados en hallar fuentes alternativas de energía han tenido como consecuencia la diversificación creciente de las fuentes de energía en los Estados Unidos de América, como se muestra en el gráfico 3.4.

Los dos estudios de casos que figuran a continuación son ejemplos del papel decisivo de los gobiernos en el cambio de dirección hacia tecnologías alternativas y más respetuosas con el medio ambiente. El primer estudio consiste en el desarrollo de la energía solar fotovoltaica como fuente de energía renovable, mientras que el segundo trata de la fabricación de vehículos eléctricos. Ambos casos son instructivos, puesto que la producción de energía y el transporte contribuyen a la mayor parte de las emisiones de gases de efecto invernadero en todo el mundo.⁷⁰

Energía solar fotovoltaica

Los gobiernos son los principales impulsores del desarrollo del sector de la energía solar fotovoltaica.⁷¹ Como se ha señalado, el programa espacial de los Estados Unidos de América invirtió de manera

temprana en el desarrollo de los paneles solares. En 1958, en el satélite estadounidense Vanguard 1 ya se utilizaron paneles solares como fuente de energía.⁷² Además, en los años setenta, activistas medioambientales convencieron a los Gobiernos de Alemania y Dinamarca para que impulsaran las fuentes de energía basadas en combustibles no fósiles, como la energía solar y la eólica.

Empresas alemanas, estadounidenses y japonesas fueron pioneras en la innovación de energía solar fotovoltaica. Los avances liderados por la NASA generaron progresos técnicos importantes en el ámbito de la energía solar fotovoltaica para su utilización en el espacio y, más tarde, en la Tierra (véase el capítulo 2).⁷³ A partir de los años noventa, Alemania comenzó a conceder subvenciones cuantiosas para favorecer las tecnologías solares fotovoltaicas (véase el recuadro 3.3), las cuales, como se ha mencionado, garantizaban que la energía generada por este método tuviera precios más elevados.⁷⁴

A medida que más países ofrecían incentivos para la producción y el consumo de tecnologías solares fotovoltaicas, aumentó la capacidad productiva y más competidores entraron en el mercado. Los innovadores originales de Alemania, el Japón y los Estados Unidos de América tuvieron que competir con empresas de China y la India.⁷⁵ Actualmente, algunos de los mayores exportadores de componentes de tecnologías solares fotovoltaicas son empresas de Alemania, China, los Estados Unidos de América, el Japón, Malasia, los Países Bajos, la Región Administrativa Especial de Hong Kong, la República de Corea y Singapur.⁷⁶

La ampliación de la capacidad de producción y el aumento del número de competidores redujeron considerablemente el precio de la energía solar fotovoltaica y potenciaron la demanda de mercado de la tecnología. El sector de la energía solar fotovoltaica atrajo al 46% de las inversiones mundiales en fuentes de energía renovable entre 2013 y 2018.⁷⁷ En un período de ocho años, de 2010 a 2018, el costo de producir electricidad mediante energía solar fotovoltaica disminuyó un 77%. Entre 2005 y 2018, esa capacidad instalada acumulada se multiplicó por 100.⁷⁸ La AIE prevé que en 2050 la energía solar representará una quinta parte del suministro mundial de energía, si la capacidad de la energía solar fotovoltaica se multiplica por 20 de aquí a esa fecha.⁷⁹

Recientemente, la escasez de componentes para los paneles solares debida a las interrupciones en la cadena de suministro causadas por la pandemia de COVID-19 ha provocado un aumento del precio de los paneles solares. Además, las tensiones comerciales entre los Estados Unidos de América y China pueden llevar a que se impongan aranceles sobre componentes esenciales. Esas circunstancias pueden ralentizar la

adopción de la energía solar fotovoltaica y menoscabar las estrategias de descarbonización de los países.

Vehículos eléctricos

La tecnología relativa a los vehículos eléctricos existe desde mediados del siglo XIX, pero su desarrollo se vio eclipsado por sus competidores, los vehículos de gasolina. Sin embargo, a comienzos del siglo XXI, el interés en los vehículos eléctricos ha regresado con fuerza como consecuencia de la preocupación creciente por las emisiones de carbono.

Los vehículos eléctricos son otro ejemplo de cómo los gobiernos pueden generar una demanda temprana de tecnologías de baja emisión de carbono. En 2005, el Gobierno de los Estados Unidos de América comenzó a ofrecer desgravaciones del impuesto a la renta de hasta 7.500 USD por la adquisición de vehículos eléctricos. Este incentivo impulsó la demanda. Un estudio estima que la desgravación fiscal representó al menos el 40% de las compras totales de vehículos eléctricos en el período comprendido entre 2011 y 2013.⁸⁰ Esta cifra no incluye los incentivos añadidos creados por los distintos estados del país, como el programa de descuento para vehículos limpios de California.⁸¹ En China y en los Estados Unidos de América, las ventas de vehículos eléctricos disminuyeron en 2019, cuando se eliminaron subvenciones clave.⁸²

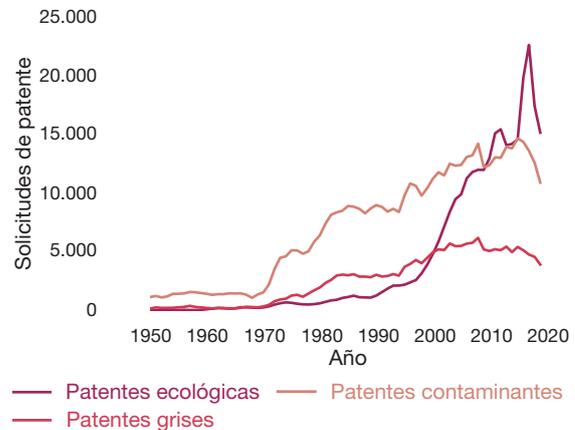
El endurecimiento de las normas relativas a las emisiones ha fomentado las inversiones en los vehículos eléctricos desde los años noventa. La UE y los Estados Unidos de América han fijado el objetivo de que, en 2030, la mitad de los automóviles adquiridos serán eléctricos. Además, en algunas de sus ciudades, así como en el Canadá, Israel, el Japón, México, el Reino Unido y Sri Lanka, se ha anunciado que antes de 2050 se prohibirá la venta de vehículos con motor de combustión interna.⁸³ Esas políticas deberían provocar un aumento del gasto en I+D en ese sector.

Los avances en las tecnologías instrumentales, como las mejoras de la capacidad de almacenamiento y la resistencia térmica de las baterías y las infraestructuras de carga, han hecho que los vehículos eléctricos sean más atractivos para los consumidores. En 2018, el perfeccionamiento de las baterías había cuadruplicado la autonomía de viaje de los vehículos eléctricos en relación con 2011.⁸⁴

En el gráfico 3.5a se muestra que, en 2009, las solicitudes de patente relativas a tecnologías limpias de baja emisión de carbono para el transporte por carretera (vehículos eléctricos e híbridos) habían superado a las tecnologías contaminantes de alta emisión de carbono (con motor de combustión interna). Además, desde 2016 las tecnologías limpias representan al menos la mitad de toda la actividad de patentamiento en la industria del automóvil (véase el gráfico 3.5b).

Cifras sobre las tecnologías relacionadas con los vehículos eléctricos e híbridos

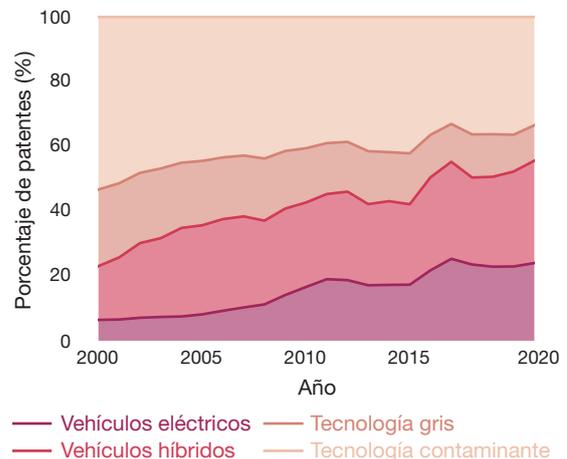
Gráfico 3.5a. Solicitudes de patente totales presentadas en la industria del automóvil, clasificadas por patentes ecológicas (vehículos eléctricos e híbridos), grises o contaminantes



Fuente: OMPI.

Nota: Algunas patentes pueden estar incluidas en más de una categoría. Las patentes ecológicas son las relativas a los vehículos eléctricos e híbridos. Las patentes contaminantes son las referidas a los vehículos convencionales con motor de combustión interna. Las patentes grises consisten en tecnologías patentadas que mejoran la eficiencia de los motores de combustión convencionales.

Gráfico 3.5b. Proporción de solicitudes de patente relativas a tecnologías ecológicas (eléctricas e híbridas), grises y contaminantes en relación con las solicitudes de patente totales de la industria del automóvil



Fuente: OMPI.

Nota: Algunas patentes pueden estar incluidas en más de una categoría. Las patentes ecológicas son las relativas a los vehículos eléctricos e híbridos. Las patentes contaminantes con las referidas a los vehículos convencionales con motor de combustión interna. Las patentes grises consisten en tecnologías que mejoran la eficiencia de los motores de combustión convencionales.

En el gráfico 3.6a se representa el crecimiento de la demanda de vehículos eléctricos por los hogares. A partir de 2011, la cuota de mercado mundial de ventas de vehículos eléctricos ha aumentado progresivamente hasta alcanzar cerca del 4% de la venta de automóviles

en 2019. Todo ello se ha logrado pese a los pocos incentivos creados por los gobiernos (véase el gráfico 3.6b), que han ofrecido subvenciones para la compra de vehículos eléctricos, lo cual implica que esos consumidores habrían elegido ese tipo de vehículos de todos modos. En su punto álgido, los incentivos de los gobiernos cubrieron el 23% del costo de los vehículos eléctricos incurrido por los consumidores, pero en 2020 ese porcentaje cayó al 10%.

Los sectores público y privado reaccionan, pero los obstáculos persisten

En los últimos cinco años, se ha observado una voluntad renovada de hacer frente al cambio climático en los sectores público y privado.

Crece la presión en el sector privado

Cada vez más fondos privados y públicos exigen que las inversiones se dirijan a tecnologías ecológicas y de baja emisión de carbono. Iniciativas como Climate Action 100+, un grupo de presión dirigido por inversores, y los fondos “verdes” tratan de persuadir a las empresas con las que colaboran de que asuman los objetivos relativos al cambio climático. Otras iniciativas se centran en que las empresas se responsabilicen de sus compromisos ecológicos. Algunas de ellas son la iniciativa Science Based Targets initiative (SBTi), que orienta a las empresas para establecer metas basadas en la ciencia, y Task Force on Climate-related Financial Disclosures (TCFD), cuyo objetivo es incrementar la información financiera relacionada con el clima.⁸⁵

Las inversiones en los fondos verdes superaron los 178.000 millones de USD el primer trimestre de 2021, lo cual significa un aumento de cerca del 370% respecto del primer trimestre de 2020.⁸⁶ Este gran aumento refleja parcialmente la creación, en el año 2020, de 200 nuevos fondos ambientales, sociales y de gobernanza (ASG), que se caracterizan por incorporar a sus estrategias de inversión factores ASG.

Algunos fondos públicos comienzan a abandonar por completo las inversiones en empresas de combustibles fósiles. El fondo de pensiones neerlandés ABP, uno de los grupos más grandes del mundo, espera haber vendido sus acciones en empresas de combustibles fósiles, equivalentes a más de 15.000 millones de euros, en el primer trimestre de 2023.⁸⁷

Además, las empresas de seguros y contabilidad comienzan a tener en cuenta las estrategias de sus clientes para la mitigación de riesgos relativos al cambio climático al calcular las primas y los valores de los seguros.⁸⁸ Las empresas que desean mantener las primas bajas y los valores elevados deben tomar en serio las cuestiones climáticas.

Las ventas mundiales de vehículos eléctricos aumentan paulatinamente

Gráfico 3.6a. Cuota de mercado mundial de vehículos eléctricos

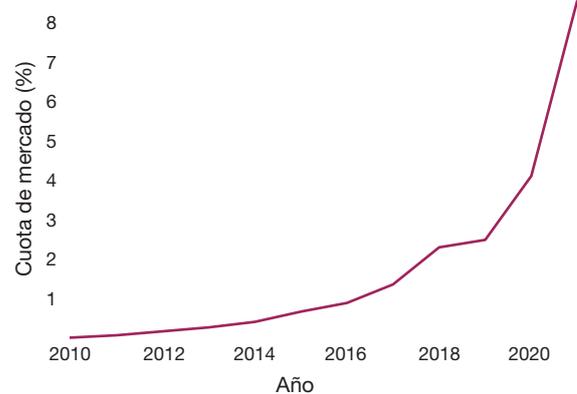
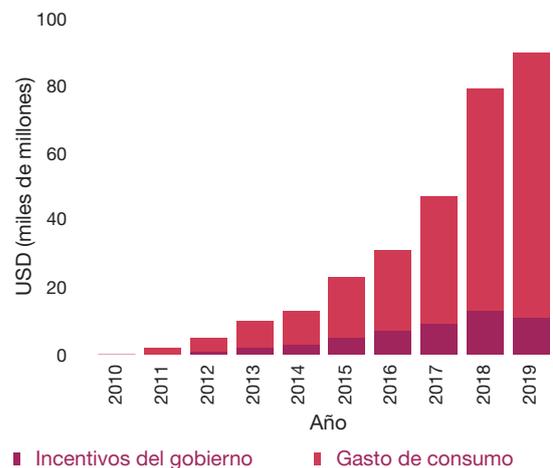


Gráfico 3.6b. Gasto en la compra de vehículos eléctricos, clasificado en función del origen de los fondos



Fuente: Agencia Internacional de Energía (AIE) (2021a).

También debe tomarse en consideración el aspecto de la reputación. La opinión pública sobre el cambio climático ha cambiado. Las generaciones jóvenes son mucho más conscientes de los problemas y defienden que debe haber cambios. Las empresas comienzan a darse cuenta de ello. Por ejemplo, los tradicionales productores de combustibles fósiles BP y Exxon cuentan con activistas climáticos en sus juntas directivas.

Medidas de los gobiernos más ambiciosas

Los gobiernos están fijando metas más ambiciosas para cumplir sus compromisos relativos al cambio climático. En 2021, el Senado de los Estados Unidos de América aprobó un proyecto de ley sobre infraestructuras por valor de 550.000 millones de USD con el objetivo de reducir la dependencia de este país

de la energía procedente de combustibles fósiles en el ámbito del transporte, así como adoptar tecnologías de baja emisión de carbono. Cerca del 13% de la inversión prevista en el proyecto se centrará en la transmisión de energía limpia a través de la red de suministro eléctrico. Será la mayor inversión en tecnologías de baja emisión de carbono de la historia del país.⁸⁹

El objetivo del programa del Gobierno estadounidense centrado en el futuro de los combustibles aeronáuticos sostenibles es complementar el proyecto de ley de infraestructuras mediante la financiación y el respaldo de la fabricación de combustible aeronáutico sostenible. También requiere que se invierta en nuevas tecnologías para mejorar la eficiencia del combustible de las aeronaves.⁹⁰ Además, el marco “Reconstruir Mejor” del Gobierno estadounidense destina 555.000 millones de USD a las inversiones en iniciativas de lucha contra el cambio climático.⁹¹

En 2019, la UE puso en marcha el Pacto Verde Europeo con el objetivo de que Europa sea neutra en emisiones de carbono y alcance las cero emisiones netas antes de 2050.⁹² El Banco Chino de Desarrollo ha financiado el sector energético del país con 500.000 millones de yuanes, de los cuales una quinta parte se ha destinado a construir sistemas energéticos limpios, de bajas emisiones de carbono, seguros y eficientes.⁹³

A escala intergubernamental, además de los objetivos de cero emisiones netas, los 191 miembros de la OACI han apoyado el llamamiento a sustituir gran parte de los combustibles aeronáuticos actuales con combustibles sostenibles antes de 2050.⁹⁴

Además, los gobiernos se han asociado con el sector privado en alianzas público-privadas para hacer frente al cambio climático. Por ejemplo, el objetivo de la alianza público-privada entre Breakthrough Energy, una red creada por Bill Gates y varios inversores privados, y Mission Innovation, una alianza mundial de 22 países y la Comisión Europea, es acelerar la comercialización de tecnologías decisivas de energía limpia. Algunas de ellas son el hidrógeno renovable, el combustible aeronáutico sostenible, la captura directa de aire y el almacenamiento de energía de larga duración. La colaboración se inició al mismo tiempo que el Acuerdo de París, en 2015, y se amplió en Glasgow en 2021.⁹⁵

Es probable que ese compromiso más firme y profundo de los sectores público y privado fomente una mayor inversión dirigida a responder a la urgencia del cambio climático. Sin embargo, la velocidad con la que esas iniciativas de traducen en avances considerables en la elaboración de tecnologías de baja emisión de carbono dependerá de muchos factores. Algunos de ellos son la voluntad política, la capacidad de financiar iniciativas y el acceso a las tecnologías de baja emisión de carbono

por parte de los países que carecen de la capacidad local para innovar.

Obstáculos a la adopción de tecnologías de baja emisión de carbono

La capacidad para lograr la transición a las economías ecológicas depende de numerosos factores.

Las empresas aún tienen incentivos limitados para invertir en tecnologías no contaminantes, como las de baja emisión de carbono, pese a las legislaciones ambientales y el respaldo de los gobiernos. El motivo es, en parte, que los recursos basados en combustibles fósiles son más baratos y están más fácilmente disponibles. En 2002, los combustibles fósiles recibieron, en promedio, el 10% de las subvenciones, lo cual ha tenido efectos en los consumidores. En 2017, las subvenciones públicas a los combustibles fósiles alcanzaron un total de 447.000 millones de USD. En cambio, las tecnologías de energía renovable recibieron 128.000 millones de USD y los biocombustibles, 38.000 millones.⁹⁶ En cierto modo, esta disparidad de las subvenciones refleja la complejidad política que supone retirar las subvenciones que suelen ser populares desde el punto de vista electoral.

La inversión en tecnologías no contaminantes también es costosa y arriesgada y, como se ha señalado, no tienen el éxito asegurado. Las empresas a menudo no tienen en cuenta los posibles beneficios para el entorno económico en el que operan –las llamadas “externalidades”, que se analizan en el capítulo 1– ni los conocimientos técnicos que se generan mediante la inversión en tecnologías de baja emisión de carbono.⁹⁷ Por el contrario, tienden a centrarse en los rendimientos de la inversión a relativamente corto o medio plazo, sin tomar en consideración las posibles repercusiones positivas para la sociedad y el medio ambiente de las inversiones en tecnología de baja emisión de carbono. Esta discordancia entre el objetivo de las empresas privadas (maximizar las ganancias) y el bienestar general de la sociedad (los rendimientos sociales y privados) es uno de los argumentos principales a favor de la intervención del gobierno. Los gobiernos pueden conminar a las empresas a tener en cuenta los costos de sus emisiones de CO₂ en la adopción de decisiones mediante, por ejemplo, impuestos a las emisiones de carbono.

Las empresas más nuevas, pequeñas y especializadas que deciden invertir en tecnología de baja emisión de carbono se enfrentan a obstáculos importantes cuando tratan de expandir sus operaciones. Les resulta más difícil financiar sus actividades que a otras pequeñas empresas que trabajan en el negocio de los combustibles fósiles.⁹⁸ Además, también tienen menos probabilidades de ser adquiridas por

Es probable que ese compromiso más firme y profundo de los sectores público y privado fomente una mayor inversión dirigida a responder a la urgencia del cambio climático.

grandes empresas.⁹⁹ A Un estudio de la AIE hizo un seguimiento del desarrollo de las empresas emergentes de tecnologías limpias en 2010, y concluyó que el 81% de ellas fracasó o abandonó el mercado.¹⁰⁰ Incluso las empresas emergentes que logran elaborar nuevas tecnologías renovables necesitarán cientos de millones de dólares para demostrar la viabilidad comercial.¹⁰¹

Es posible que las empresas vacilen en invertir en tecnologías de baja emisión de carbono, en dedicarse a ellas o en adquirir empresas especializadas en el sector, puesto que dichas tecnologías pueden acabar compitiendo con ellas por la cuota de mercado e incluso hacer innecesarias las tecnologías existentes. Es probable que la dependencia que las empresas han tenido en el pasado respecto de las tecnologías de combustibles fósiles se prolongue en el futuro. Esto se denomina “dependencia del camino escogido”.¹⁰² Aun cuando las empresas se enfrentan a precios más elevados por los recursos de combustibles fósiles, es más probable que sustituyan un combustible fósil por otro que decidan adoptar recursos de baja emisión de carbono.¹⁰³

La fuerte inercia y dependencia de la trayectoria tecnológica relativa a los combustibles fósiles genera ciclos de retroalimentación, en lo que se denomina “bloqueo relativo al carbono”. Las empresas tienen incentivos poderosos para escoger las tecnologías que cuentan con infraestructuras existentes en lugar de experimentar con nuevas, lo cual retiene las trayectorias de la innovación en los sectores de altas emisiones de carbono.¹⁰⁴

La demanda del mercado también ha de ser adecuada para mantener las inversiones en tecnología de baja emisión de carbono efectuadas por las empresas, que esperan obtener ganancias. Además, los productores afrontan un arduo proceso de aprendizaje relativo a la innovación y a la aplicación de las tecnologías de baja emisión de carbono, que requieren una mano de obra muy cualificada.¹⁰⁵ Incluso los consumidores con conciencia ambiental pueden no saber si la electricidad que consumen está producida por fuentes de energía renovables o por combustibles fósiles. Si tuvieran esta información, tal vez demandarían que la electricidad procediera de fuentes renovables e, incluso, estarían dispuestos a pagar más por ello. A su vez, esto incentivaría a las empresas del mercado a invertir en esas fuentes.

Por último, las inversiones en tecnologías instrumentales –como las instalaciones de almacenamiento de energía– son necesarias para crear y mantener la demanda de tecnología de baja emisión de carbono. Esas tecnologías consisten en la infraestructura necesaria para la distribución de energía renovable a través de redes como la red eléctrica inteligente.

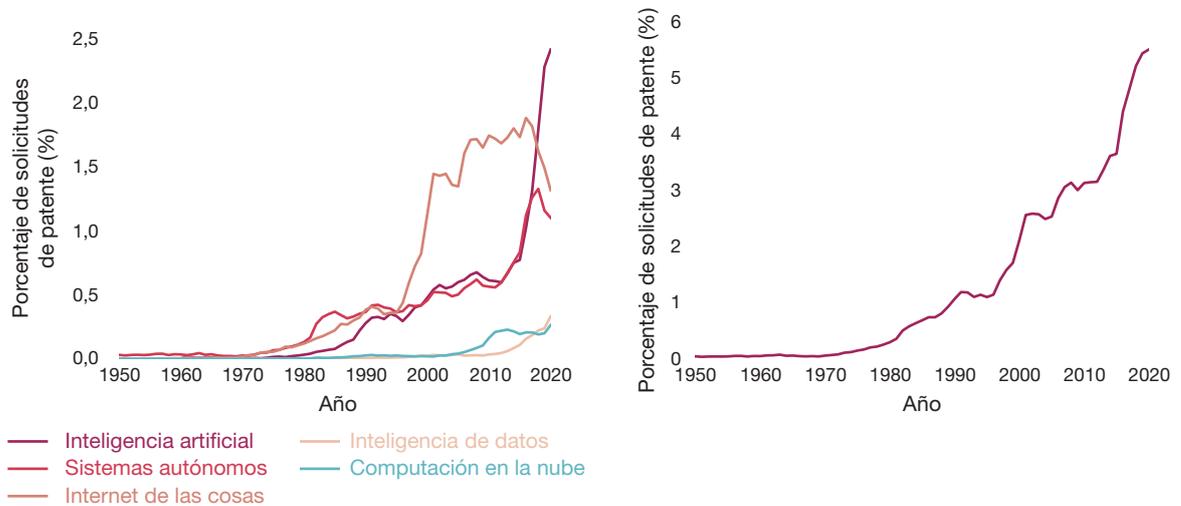
3.3 La digitalización transforma el mundo

El verano de 1956 se organizó en la universidad Dartmouth College de Hanover (Nuevo Hampshire) un taller sobre cómo programar las máquinas para que recopilen datos, los analicen para resolver problemas y “aprendan” de la experiencia. La premisa del taller era que el proceso de aprendizaje puede describirse de manera suficientemente detallada para que una máquina pueda programarse para ser inteligente.¹⁰⁶ Muchos consideran que este taller fue el origen de la inteligencia artificial (IA), término equivalente al de “tecnología de aprendizaje automático”. La IA es la base de la nueva etapa de la digitalización –las tecnologías de uso general– que está transformando las actividades económicas. Esta nueva etapa abarca tecnologías como las predictivas, la automatización sumamente sofisticada o la inteligencia de datos.¹⁰⁷

Las tecnologías de uso general se caracterizan por estar presentes en todas partes, impulsar la innovación en ámbitos complementarios y poder aplicarse en numerosos sectores e industrias. Las tecnologías de uso general anteriores, como la máquina de vapor, la electricidad y las tecnologías de la información y las comunicaciones (TIC) (véase el capítulo 1) están estrechamente relacionadas con las tres primeras revoluciones industriales de escala mundial. Podría decirse que la integración plena de las tecnologías digitales en las actividades económicas marca el inicio de la Cuarta Revolución Industrial, caracterizada por una economía completamente basada en los datos.¹⁰⁸

El número de patentes relativas a tecnologías digitales de uso general crece más deprisa que el promedio de solicitudes de patente en todas las tecnologías

Gráfico 3.7. Proporción de las tecnologías digitales de uso general, clasificadas por categoría (izquierda), en relación con todas las solicitudes de patente (derecha)



Fuente: OMPI, basado en PATSTAT.

Nota: Algunas patentes pueden estar incluidas en más de una categoría.

Las tecnologías digitales de uso general son una consecuencia natural de la digitalización global inherente a tres ámbitos científicos y técnicos que son distintos, pero están relacionados entre sí, a saber, la robótica, las redes neuronales y los sistemas simbólicos. Estos dos últimos ámbitos son ejemplos de cómo aprenden los programas de IA. Esas innovaciones basadas en la IA son tecnologías computacionales inteligentes que pueden ejecutar una serie de instrucciones y mejorar su rendimiento a partir de la información obtenida y los procesos de aprendizaje, todo ello sin la intervención humana.

Los avances en estos ámbitos guardan una estrecha relación con el apoyo de los gobiernos en forma de becas y premios de investigación y de inversiones en tecnologías instrumentales. Por ejemplo, la agencia estadounidense DARPA (véase el recuadro 3.1) organizó un concurso en 2004 cuyo premio era 1 millón de USD y que consistía en una carrera de 240 kilómetros para vehículos autónomos (sin conductor o autopilotados).¹⁰⁹ Se consideró que el premio fue importante para estimular la investigación relativa a los vehículos autónomos.

Los gobiernos prestaron apoyo, especialmente en las etapas iniciales, a la mejora progresiva de las tecnologías instrumentales, como las TI (véase el capítulo 2), junto con el aumento de la capacidad informática y la computación en la nube (prestación de distintos servicios, como el almacenamiento de datos en Internet).¹¹⁰ Además, los gobiernos también realizaron cuantiosas inversiones necesarias en infraestructuras complementarias como la Internet de alta velocidad.

Como sucede con las tecnologías relativas al cambio climático, los gobiernos seguirán influyendo en la adopción de las tecnologías digitales de uso general y promoviendo la innovación mediante la inversión en infraestructuras instrumentales, como las redes necesarias para la tecnología inalámbrica de 5G. Esta última proporcionará volúmenes de datos muchísimo más amplios, a velocidades mucho más elevadas y con una fiabilidad sumamente superior, lo cual hace posibles innovaciones revolucionarias como la Internet de las cosas (IdC) (véase más adelante).

Además, la dependencia de las tecnologías y servicios digitales ha aumentado durante la pandemia de COVID-19. En los confinamientos, los patrones de consumo y las actividades económicas se transformaron. Los consumidores efectuaron muchas más compras desde sus hogares y utilizaron los servicios digitales para satisfacer casi todas sus necesidades de consumo.¹¹¹ Las empresas capaces de adoptar la digitalización o trabajar en línea fueron más resilientes a los efectos negativos de la pandemia. Aquellas que no lo consiguieron, tuvieron que cerrar.

Las industrias que prestaron apoyo al trabajo remoto, como las plataformas de videoconferencia, se beneficiaron del repunte de sus negocios. Las empresas que no pusieron en marcha el trabajo remoto o que no fueron complacientes a este respecto, más tarde encontraron dificultades para que los empleados volvieran a la oficina. Muchos restaurantes y establecimientos que requerían la presencia de los clientes debieron cerrar.

Esos nuevos servicios se fundamentan en plataformas digitales, herramientas tecnológicas que facilitan las transacciones entre las personas (mercados en línea), ofrecen la infraestructura necesaria para elaborar nuevos productos o servicios (aplicaciones móviles) o crean infraestructuras institucionales (la cadena de bloques de datos).¹¹²

En los últimos decenios, las solicitudes de patente mundiales –que son un indicador de la innovación– relativas a las tecnologías digitales de uso general han aumentado de forma drástica, como se muestra en el gráfico 3.7. Estas tecnologías crecen más rápidamente que las TI.

Sin embargo, la influencia de esas tecnologías en los distintos sectores económicos y países es desigual. La digitalización de la información es un elemento esencial del funcionamiento de esas tecnologías, las cuales, al acceder a un gran volumen de información, pueden deducir patrones a partir de esa información y, con entrenamiento, pueden aprender a detectar patrones y tendencias concretos. Ahora bien, es necesario contar con una capacidad informática suficiente para el procesamiento de grandes cantidades de información digitalizada. Este requisito puede plantear dificultades añadidas a las economías menos desarrolladas para competir en el nuevo contexto económico.

La innovación se transforma en una vía de doble sentido

Las tecnologías de uso general están transformando las industrias porque atraen innovadores, estructuras, prácticas y valores nuevos. Los innovadores tradicionales deben hacer frente a la competencia de empresas de TI. Por ejemplo, los fabricantes de automóviles tradicionales deben competir con las empresas tecnológicas de Silicon Valley que elaboran vehículos autónomos.¹¹³

En el ámbito de la salud, los fabricantes de relojes inteligentes miden diariamente información sanitaria vital que puede proporcionar datos útiles para los exámenes médicos. En los sectores de defensa y logística, se utilizan drones para la inteligencia, el reconocimiento y el suministro.¹¹⁴ Incluso en el turismo, los servicios en línea y las aplicaciones móviles propician los cambios, al permitir la organización de viajes en el vehículo de otra persona en lugar de recurrir a un taxi o el alojamiento en casa de un particular en lugar de en un hotel.

Las tecnologías transforman el tipo de innovación que se lleva a cabo. Gran parte de la innovación actual se basa en las tecnologías digitales, que originan nuevos sectores como el de la IdC, consistente en un sistema de objetos y dispositivos interrelacionados y conectados a Internet que pueden recopilar y transmitir

datos sin necesidad de la intervención humana. En lugar de publicitarse en revistas o en televisión, las empresas cosméticas se dan a conocer mediante personas influyentes (*influencers*) o colocan anuncios en motores de búsqueda y plataformas de redes sociales. Los productos y servicios son objeto de colaboración masiva (*crowdsourcing*), en la que los usuarios formulan comentarios sobre el rendimiento y los servicios prestados, lo cual proporciona a los compradores información valiosa antes de adquirir los productos o servicios.

En el ámbito médico, la tecnología de IA puede entrenarse para detectar el crecimiento anormal de una célula en el cuerpo. Puede contribuir a las investigaciones relativas a la medicina de precisión, en la que los tratamientos se personalizan para adaptarlos a la situación concreta de un paciente.¹¹⁵

Además, las tecnologías digitales de uso general transforman la forma en que se utilizan las propias tecnologías digitales. Son interactivas y extraen lecciones de la utilización que las personas hacen de ellas. Esto las diferencia de las innovaciones de TI de finales del siglo XX. Antes, la interacción con la tecnología solo se producía en un sentido. Por ejemplo, los grandes robots utilizados en la fabricación de automóviles se programaban previamente y permitían la mecanización de determinadas tareas repetitivas y que requerían una alta concentración de mano de obra. Para efectuar mejoras en el funcionamiento de los robots, eran necesarios los conocimientos técnicos de ingenieros mecánicos y especialistas, y los usuarios de los robots debían realizar un aprendizaje basado en el ensayo y error.

Actualmente, las tecnologías de IA aprovechan los grandes volúmenes de datos recopilados y los enormes recursos de procesamiento de datos para mejorarse por sí mismas.¹¹⁶ Un ejemplo excelente es la aplicación de la ubicación de los teléfonos inteligentes. Cuando se busca la ruta más rápida o conveniente para llegar al destino deseado en función de las condiciones del tráfico, se proporciona información como la ubicación, el momento de la búsqueda y dónde se desea llegar, entre otros datos. Si se extrapola esta petición, se genera un vasto conjunto de datos que alimenta el sistema de localización, el cual, a su vez, mejora su utilidad y productividad en tiempo real.

Otro ejemplo se refiere a las etiquetas que hacen referencia a los contactos que aparecen en las imágenes subidas a plataformas de redes sociales. El gran volumen de datos recopilados de este modo entrena a la IA para mejorar el reconocimiento facial, que se utilizará en el futuro para proponer etiquetas cuando se reconozca a las personas de las fotografías. Este carácter interactivo y de retorno de información hace que las tecnologías sean inteligentes y reactivas.¹¹⁷

Acelerar el proceso de innovación

Las tecnologías digitales pueden ofrecer importantes beneficios. Las universidades y las empresas hacen uso de técnicas de IA, como las redes neuronales de aprendizaje profundo, para lograr progresos científicos. El término “aprendizaje profundo” se refiere a la utilización de múltiples capas de redes neuronales artificiales, que son sistemas informáticos inspirados por las estructuras neuronales del cerebro humano. Los investigadores médicos utilizan esas técnicas de aprendizaje de IA para detectar, diagnosticar y tratar enfermedades.

La traducción automática permite comprender sitios web en distintos idiomas. La plataforma eBay, que facilita las ventas entre consumidores y de la empresa al consumidor, introdujo la traducción automática en América Latina en mayo de 2014, lo cual aumentó sus ingresos un 13,1% y permitió que las exportaciones por medio de sus servicios desde los Estados Unidos de América hasta América Latina crecieran un 17,5%.¹¹⁸

La aplicación de tecnologías digitales de uso general en la investigación acelera el proceso de la innovación y hace más eficiente la I+D. En la agricultura, por ejemplo, tecnologías digitales como los sensores del suelo proporcionan información sobre sus condiciones. Si el suelo está demasiado seco, los sensores avisan al sistema para que riegue los cultivos, lo que aumenta la eficiencia de la explotación.

En la industria espacial, se espera que la IA contribuya a desarrollar tecnologías que permitirán a los robots y las máquinas funcionar de forma autónoma sin necesidad de instrucciones humanas. Esto será necesario cuando la exploración profundice en el espacio y se llegue a lugares fuera del alcance de las comunicaciones con la Tierra (véase el capítulo 2).

En las secciones siguientes se examinan en mayor profundidad las formas en las que es probable que las tecnologías digitales de uso general influyan en la innovación y la estimulen en los sectores del transporte, la asistencia sanitaria y la educación.

Optimización de los sistemas de transporte

Como se ha señalado, las tecnologías digitales de uso general, especialmente la IA, podrían reducir la congestión de las carreteras mediante la gestión “inteligente” del tráfico. Aplicaciones de cartografía como Waze o Google Maps ya utilizan los dispositivos móviles para proponer las rutas convenientes para llegar a una ubicación determinada.

Ahora bien, la información sobre la ubicación de los usuarios también puede servir a los organismos

públicos, como las autoridades encargadas de carreteras e infraestructuras, los controladores de tráfico o incluso las agencias públicas de transporte, para resolver los problemas de congestión de las carreteras. Las políticas diferenciadoras de tarificación vial pueden cobrar a los usuarios en función del tiempo que pasan en la carretera o de si se hace un uso compartido de los vehículos. El aumento de las tarifas viales en determinadas franjas horarias podría fomentar el uso del transporte público. Además, las agencias de transporte público podrían utilizar esos datos para decidir la frecuencia de los autobuses en las distintas paradas. La mejora del transporte público al hacerlo más fiable y puntual también puede promover la utilización del sistema, lo que reduciría no solo la congestión sino también las emisiones de carbono.

Optimizar la investigación médica y la asistencia sanitaria

La digitalización está transformando el sector de la atención médica. Una nueva oleada de tecnologías digitales de uso general permite que el proceso de I+D en medicina sea más eficiente. Esas tecnologías tienen la capacidad de mejorar la detección de enfermedades y el descubrimiento de medicamentos.¹¹⁹ Las tecnologías de IA pueden escanear los códigos genéticos de los pacientes y detectar las secuencias de genes que indican la presencia de enfermedades concretas de manera más precisa y rápida que los humanos. Por ejemplo, los investigadores son optimistas respecto a la utilización de la IA para la detección sistemática temprana del virus SARS-CoV-2 y determinar las terapias que pueden refrenar los futuros brotes.¹²⁰

Esas tecnologías pueden personalizar la prestación de la asistencia sanitaria para cada paciente. Los dispositivos ponibles, como relojes o pulseras, ayudan a detectar anomalías cerebrales y alertar así al paciente y otras personas. Estos dispositivos inteligentes también tienen capacidad para recopilar datos que pueden ser analizados por los médicos y contribuir a prestar una mejor asistencia sanitaria. Pueden ayudar a optimizar la organización de la atención de urgencia en los hospitales. Cuando los pacientes están de camino a una sala de urgencias, es posible comunicar al hospital información vital sobre ellos de forma instantánea. Además, es posible invitar a los pacientes que tal vez no necesiten atención inmediata a que acudan al hospital en las horas de menor afluencia o que pidan cita con sus médicos de cabecera, lo cual contribuye a evitar las aglomeraciones en las salas de urgencias.

En algunas economías en desarrollo, los drones ya ayudan a remediar los efectos de las redes de transporte deficientes, mediante la prestación de atención

y tratamiento médicos. Por ejemplo, durante la pandemia de la COVID-19, la alianza público-privada entre UPS (un proveedor de servicios postales), la empresa emergente Zipline y GAVI (una organización intergubernamental cuyo objetivo es proporcionar vacunas a todas las personas) distribuyeron vacunas en la región Ashanti, situada en el sur de Ghana. Los drones pueden recorrer hasta 69 km con relativa rapidez y transportar vacunas sin necesidad de contar con un medio de almacenamiento refrigerado para mantenerlas viables.¹²¹

Mejorar el acceso a la educación

Aunque las tecnologías digitales de uso general ya estaban transformando algunos aspectos de la enseñanza, el confinamiento mundial impuesto para contener la propagación de la COVID-19 aceleró el proceso. Puede afirmarse que este fue un experimento educativo sin precedentes. La sustitución repentina de las clases presenciales por las virtuales generó cambios en la manera de enseñar y aprender de profesores y estudiantes, respectivamente. Los profesores se vieron obligados a inventar formas de reorganizar y crear los contenidos de las clases virtuales que las hicieran atractivas para los estudiantes.

Las últimas investigaciones sobre el reconocimiento facial están realizando pruebas para que la tecnología avise a los profesores cuando los alumnos no presten atención, lo que les permitiría adaptar en consecuencia su método de enseñanza. Estos experimentos permitirán seguir innovando continuamente para lograr una educación más personalizada.

Dado que se ofrecen más cursos en línea, los alumnos pueden escoger más fácilmente los más adecuados a su experiencia y necesidades de aprendizaje. En algunos casos, los avances también deberían mejorar el acceso a los sistemas educativos, que no siempre están fácilmente disponibles para todas las personas debido a las largas distancias que deben recorrerse o a los costos.

La innovación digital también transformará el contenido educativo. La IA, la automatización y otras tecnologías provocarán que algunas profesiones queden obsoletas y originarán otras nuevas, que requerirán conjuntos de cualificaciones diferentes. Es probable que la automatización sustituya a la mano de obra poco cualificada que lleva a cabo tareas repetitivas y rutinarias. En cambio, surgirá la demanda de trabajadores muy cualificados que estén familiarizados con la IA y las tecnologías conexas. Estos conjuntos de cualificaciones probablemente consistirán en competencias analíticas, creativas y adaptativas y en aptitudes interpersonales como el pensamiento crítico, la resolución de problemas, la gestión y el liderazgo.¹²²

Aspectos positivos y negativos de la última revolución

Como se ha mencionado, las tecnologías digitales de uso general están transformando la dirección de la innovación. El cambio continuará y quizás sea incluso más rápido, habida cuenta de nuestra dependencia creciente de esas tecnologías y la innovación que conllevan. Ahora bien, los beneficios del crecimiento económico no son automáticos.

Las tecnologías mencionadas pueden impulsar el crecimiento económico cuando generan una innovación que complementa y mejora la productividad humana. Sin embargo, cuando la innovación simplemente sustituye la necesidad del trabajo humano, conlleva el riesgo de agravar las desigualdades económicas.¹²³ La automatización puede afectar a gran parte de la población, posiblemente en mayor medida que la generación anterior de tecnologías de uso general.¹²⁴ El aumento del desempleo acentuaría las desigualdades. Aunque los gobiernos puedan proporcionar redes de seguridad social a los desempleados, el incremento del desempleo podría ejercer presión en los presupuestos y obligar a los gobiernos a reducir el gasto en ámbitos importantes como la educación o la salud.

Es posible que algunas economías en desarrollo no estén preparadas para beneficiarse de una Cuarta Revolución Industrial (véase el capítulo 1).¹²⁵ La nueva oleada de avances tecnológicos requiere una inversión sustancial de capital y una mano de obra muy cualificada. Sin embargo, las economías de ingreso bajo se caracterizan por una oferta abundante de mano de obra poco cualificada y recursos limitados de inversión de capital. Además, la falta de las infraestructuras necesarias podría limitar aún más los posibles beneficios de las tecnologías digitales de uso general en las economías más pobres.

Como se ha señalado anteriormente, los organismos públicos podrían utilizar las grandes cantidades de datos generados por las tecnologías digitales de uso general para producir rendimientos sociales importantes, como la mejora de las infraestructuras públicas o el seguimiento de los brotes de enfermedades entre la población.

No obstante, la mayor parte de los datos está en manos de unas pocas grandes empresas tecnológicas, que los recopilan por medio de los servicios que prestan. Piénsese en las aplicaciones de geolocalización. Cuando un usuario active una de estas aplicaciones en Malasia, enviará información a los servidores que son propiedad de corporaciones con fines lucrativos que tienen su sede en el extranjero. Los datos enviados consisten en la ubicación, la hora y el medio de transporte preferido por el usuario. Las agencias de transporte público

y los epidemiólogos podrían utilizar esos datos para efectuar análisis que, en este caso, podrían beneficiar a la población de Malasia. Sin embargo, tal vez no tengan acceso a esa información debido a que los datos se almacenan en servidores privados en otro país.

La seguridad nacional también es un problema en algunos países. La interconexión entre distintas innovaciones tecnológicas digitales y la posibilidad de que los dispositivos proporcionen a terceros información delicada cuestionan el grado de seguridad de las tecnologías. Los gobiernos se plantean en qué medida deben confiar en ellas los sectores y organismos en los que se maneja información sumamente confidencial, como los ministerios de defensa nacional, habida cuenta de los riesgos de piratería informática.

Los gobiernos pueden tratar de orientar la innovación digital basada en la tecnología de modo que se incrementen al máximo los beneficios sociales y, al mismo tiempo, se protejan los intereses del sector privado y los mercados. Por ejemplo, los gobiernos podrían tratar de fomentar las innovaciones que crean empleo o mejoran el bienestar en lugar de aquellas que sustituyen a la mano de obra.¹²⁶ Algunas de las tecnologías que aportan mejoras son las que utilizan la IA para generar subtítulos en directo y traducciones simultáneas, lo cual facilita las transacciones comerciales, aumenta la productividad e impulsa el crecimiento económico. Las innovaciones tecnológicas que sustituyen a la mano de obra podrían ser robots de reemplazo de la mano de obra poco cualificada, aunque la evidencia de que esto tenga como consecuencia la pérdida de empleos a largo plazo no es en absoluto concluyente. De conformidad con dos estudios sobre economías de ingreso alto, la adopción de robots industriales –máquinas relativamente automatizadas que se integran en procesos industriales especializados– ha aumentado la productividad.¹²⁷ No está claro si esta conclusión puede extrapolarse a las economías más pobres, en las que la proporción de mano de obra poco cualificada suele ser relativamente mayor.

Los gobiernos también pueden desempeñar un papel importante en la privacidad de los datos, especialmente para decidir qué tipo de información se recopila y cómo se utiliza. Cabe preguntarse si los datos recopilados sobre las personas de distintas partes del mundo, aun de manera anónima, deberían ser propiedad de empresas privadas. ¿Podría utilizarse la información recopilada de manera que menoscabe la competitividad de los mercados? Las autoridades encargadas de la defensa de la competencia en el Reino Unido, la UE y los Estados Unidos de América, entre otros países, están estudiando esas cuestiones (véase el recuadro 3.4).¹²⁸

Los intereses de las empresas privadas pueden no coincidir con las necesidades de la sociedad. ¿Sería posible tratar los datos personales sobre los ciudadanos, recopilados mediante tecnologías de propiedad privada de manera que se garantizaran los amplios beneficios sociales de aprovechar las tecnologías digitales para la innovación y, al mismo tiempo, respetar la privacidad y la seguridad nacional? No existen respuestas o soluciones obvias a esta pregunta. Sin embargo, la existencia de esos problemas justifica en cierto modo la intervención de los gobiernos.

Recuadro 3.4

Grandes empresas tecnológicas: el problema de la defensa de la competencia

Las empresas Google/Alphabet, Apple, Facebook/Meta, Amazon y Microsoft son las propietarias de las plataformas digitales más utilizadas del mundo.¹²⁹ Estas cinco compañías de TI compiten entre sí para prestar distintos servicios, como los motores de búsqueda, las redes sociales, dispositivos inteligentes como los dispositivos ponibles y la computación en la nube, entre otros. El modelo de negocio de cada una de ellas es diferente. El motor de búsqueda de Google genera ingresos mediante la venta de espacios de publicidad personalizada. Amazon es el equivalente digital de un minorista tradicional y vende la mercancía a través de su plataforma.

El rápido ritmo del desarrollo tecnológico y la naturaleza integrada del mercado digital plantean algunos desafíos a las políticas y el Derecho de la competencia. Resulta fundamental adaptarlos a las nuevas realidades y modelos de negocio para garantizar unos mercados competitivos y disputables.¹³⁰

Esos cinco proveedores poseen un poder de mercado considerable, especialmente en el mercado digital. Gracias a la integración vertical de sus plataformas, la información sobre los usuarios que recopilan esas empresas puede aprovecharse para optimizar los productos y servicios ulteriores. Este avance es positivo desde la perspectiva de la eficiencia económica. La agrupación de productos, como la interoperabilidad de las aplicaciones con los métodos de pago para adquirirlas, a menudo redundan tanto en interés de los consumidores como de los fabricantes de aplicaciones.

Desde el punto de vista de la defensa de la competencia, el hecho de que unas pocas empresas controlen gran parte del sistema puede ser perjudicial para la innovación y el crecimiento económico futuro. Se plantea la cuestión relativa a la competencia de si utilizar el poder de mercado

en un segmento vertical ascendente puede reprimir la competencia y el flujo de innovación. Por ejemplo, una empresa matriz puede emplear los datos recopilados sobre los patrones de consumo de los usuarios anteriores de una plataforma digital a fin de ofrecer productos similares pero que compitan con esa plataforma digital, o para presentar selectivamente esos productos en detrimento de otros.

Pueden esgrimirse varios argumentos económicos para contradecir a quienes defienden que las plataformas digitales representan una amenaza a la competencia. Esas empresas innovan y compiten entre ellas continuamente.¹³¹ No existen barreras de entrada en el mercado en el sentido tradicional de restricción de la competencia. Los nuevos productos o competidores lo tienen relativamente fácil para entrar en el mercado y los costos parecen ser reducidos. Cualquier empresa de TI podría teóricamente crear una plataforma digital propia y los consumidores podrían abandonar otras plataformas para utilizar la nueva. Muchos de esos servicios se prestan sin costos monetarios para el consumidor. Dicho esto, las grandes empresas cuentan con una ventaja competitiva considerable sobre los nuevos rivales debido al hecho de ser las primeras en el mercado, lo que les permite crear el ecosistema de un producto y fijar la clientela. Los usuarios tal vez se muestren reticentes a escoger una plataforma diferente, porque están acostumbrados a la actual y el cambio puede ser oneroso.¹³²

Además, las plataformas digitales son tan valiosas como el número de servicios que ofrecen, que a su vez está relacionado con el número de usuarios. Un mayor número de aplicaciones implica más usuarios, lo cual puede atraer a otros productores de aplicaciones a emplear la plataforma digital. Además, los datos sobre el consumo se han convertido en una fuente importante de ventaja competitiva en muchos mercados digitales. Por lo tanto, atraer y tener un volumen importante de servicios y usuarios puede considerarse, en cierto sentido, una barrera de entrada al mercado.

Varias autoridades encargadas de la competencia están estudiando las plataformas digitales desde la perspectiva de la defensa de la competencia.¹³³ Las investigaciones de algunas de ellas se centran en los aspectos siguientes:

- los resultados de búsqueda de las plataformas digitales, que dan preferencia a sus propios productos y servicios;¹³⁴
- los comportamientos anticompetitivos de las plataformas dirigidos a preservar su poder de mercado;¹³⁵ y
- las actividades de fusión y adquisición dirigidas a eliminar a los posibles rivales.¹³⁶

¿Qué harán las autoridades encargadas de la competencia para hacer frente a las cuestiones de defensa de la competencia en ese mercado? Tal vez no tengan la capacidad necesaria para lidiar con esos gigantes tecnológicos y las complejidades de las plataformas integradas verticalmente.¹³⁷ Además, la ejecución de sentencias tal vez sea difícil y puede incluso perjudicar a la competencia.¹³⁸

3.4 Las políticas públicas pueden fomentar la innovación para hacer frente a los desafíos

El proceso de innovación conlleva la interdependencia o interacción de varias partes interesadas en ecosistema de innovación. En relación con el cambio climático, la conducta interdependiente de una variedad de actores influye en la dirección y el ritmo de la innovación relativa a las tecnologías ecológicas. Esos actores son empresas emergentes especializadas en tecnologías ambientales, empresas del sector energético, instituciones públicas como la Agencia de Protección Ambiental de los Estados Unidos de América, universidades y organizaciones intergubernamentales como la CMNUCC.

Esta sección se centra en las medidas públicas. Los gobiernos pueden intervenir de varias formas, a saber, financiar la investigación, aprobar regulación o establecer metas para cambiar la dirección de la innovación, como se ha señalado en los apartados sobre la salud (COVID-19), el cambio climático y el auge de las tecnologías digitales de uso general.

Fomentar la innovación en beneficio de la sociedad

Los gobiernos tal vez deseen influir en la dirección del cambio para maximizar los beneficios sociales. Por lo general, esta postura de los encargados de formular las políticas está respaldada por tres argumentos.

Cuando las necesidades de la sociedad y los objetivos de las empresas privadas con fines lucrativos no coinciden, los gobiernos pueden, y probablemente deberían, intervenir. Como se ha visto en el capítulo 1, esto es especialmente cierto cuando los rendimientos sociales o los beneficios de satisfacer las necesidades de la sociedad (por ejemplo, reducir la contaminación) superan con creces los rendimientos privados de proseguir con la actividad empresarial como es habitual.

En el contexto del cambio climático, los programas, las políticas, los reglamentos y las normas de los gobiernos desempeñan un papel importante al orientar la dirección de la innovación hacia tecnologías de mitigación. En cuanto a las tecnologías digitales, algunos gobiernos tal vez deseen prevenir o atenuar los posibles efectos negativos, especialmente cuando la utilización creciente de la IA, por ejemplo, tiene probabilidades de provocar grandes pérdidas de empleo, o cuando se plantean problemas relativos a la privacidad de los datos, a la competencia o a la seguridad nacional.

Debido a la competencia del mercado, las empresas suelen invertir en las actividades de innovación que generan el mayor rendimiento en el período más breve. Las empresas consolidadas evitan las actividades de innovación arriesgadas e inciertas. Esto explica por qué la mayor parte de los avances tecnológicos de mitigación del cambio climático son fruto de la labor de empresas emergentes recién incorporadas al sector.

En el ámbito de la biomedicina, las empresas tratarán de invertir en actividades que tienen probabilidades de encontrar aplicaciones comerciales relativamente inmediatas.¹³⁹ Por ejemplo, las empresas farmacéuticas prefieren adaptar las tecnologías existentes para seguir tratando enfermedades en lugar de invertir en vacunas o tratamientos médicos nuevos. Para la sociedad, la inversión en investigación médica con efectos más duraderos es, con diferencia, preferible a adaptar los tratamientos y tecnologías existentes, pero materializar dicha investigación requiere mucho más tiempo y esfuerzo.

Si surge una crisis, los gobiernos deben adoptar programas e iniciativas para hacerle frente. En relación con la vacuna contra la COVID-19, la importancia de hallar una solución justifica la cuantiosa financiación y el gran apoyo dedicados a hallar maneras de mitigar rápidamente los efectos del virus SARS-CoV-2.¹⁴⁰ El apoyo del gobierno al desarrollo y la fabricación de vacunas a gran escala fue esencial para distribuirlas con rapidez. Tanto la iniciativa de los Estados Unidos de América como la del Reino Unido (véanse los recuadros 3.1 y 3.2) prestaron apoyo durante todo el desarrollo de las vacunas, desde las primeras actividades de I+D para hallar las posibles candidatas, pasando por los ensayos y la aprobación final por los organismos reguladores, hasta el incremento de la producción y la distribución de las vacunas. Las inversiones en vacunas que no llegaron a buen puerto por ser inviables no han de considerarse un desperdicio de dinero, dado el grado elevado de incertidumbre inicial acerca de qué vía funcionaría.¹⁴¹

Para hacer frente al cambio climático y lograr el objetivo de mantener el nivel de calentamiento global por

debajo de 2 °C a finales de este siglo sería importante contar con un respaldo similar de los gobiernos. Ahora bien, es necesario adoptar medidas en todos los planos, desde la cooperación multilateral hasta los hogares. En un informe de la AIE se recomienda generar un cambio radical para poder cumplir el objetivo fijado por los gobiernos en 2015 y confirmado en 2021.¹⁴² Según el informe, las inversiones en tecnología de baja emisión de carbono deben triplicarse y alcanzar cerca de los 4 billones de USD en 2030. Todas las ventas de automóviles de pasajeros de motor de combustión interna deben detenerse antes de 2035 y todas las centrales eléctricas de carbón y petróleo deben reducirse gradualmente hasta eliminarse antes de 2040. En resumen, es necesario transformar completamente el sistema energético mundial.¹⁴³

Determinar la dirección de la innovación

Los gobiernos pueden aprobar legislación que lleve al sector privado a invertir en determinados tipos de innovación. En cuanto al cambio climático, políticas como la fijación del precio del carbono influyen en el sector privado para que se adopten tecnologías de baja emisión de carbono o tecnologías de mitigación de las emisiones.

De manera similar, los gobiernos pueden regular la utilización de los datos sobre los usuarios recopilados mediante las nuevas tecnologías digitales. El Reglamento General de Protección de Datos (RGPD) de la UE se concibió para prevenir el uso indebido de la información sobre los ciudadanos, por ejemplo, con fines de mercadotecnia o de seguimiento no autorizado de los movimientos de los usuarios. Las políticas de protección de la propiedad intelectual definen cuáles son las tecnologías de uso general que pueden patentarse o, más bien, hasta qué punto es posible. La IA puede generar invenciones. Sin embargo, en muchas jurisdicciones, las patentes solo pueden referirse a invenciones realizadas por humanos. Aquellas creadas por algoritmos informáticos complejos no se contemplan.¹⁴⁴ La innovación generada mediante la IA tal vez deba someterse a otros instrumentos de PI, como los secretos comerciales, para garantizar su protección frente a las imitaciones.

La inversión pública en infraestructuras y tecnologías instrumentales o complementarias puede facilitar la adopción de las innovaciones en ámbitos decisivos. Por ejemplo, modernizar las redes eléctricas para permitir un mayor uso de las fuentes de energía renovable podría acelerar la adopción de tecnologías de mitigación del cambio climático y reducir las emisiones de CO₂. Los gobiernos podrían invertir en estaciones de carga de baterías para fomentar la utilización de los vehículos eléctricos. Los

posibles beneficios de las inversiones efectuadas por los Gobiernos del Reino Unido y de los Estados Unidos de América en la capacidad de sus países para producir tecnología de vanguardia dirigida a combatir la COVID-19 tal vez contribuyan a que estén bien preparados para reaccionar ante pandemias similares en el futuro.

En el recuadro 3.5 se presenta un resumen de una selección de políticas públicas dirigidas a actividades de innovación concretas que se consideran fundamentales para el crecimiento económico.

Recuadro 3.5

Selección de políticas públicas para reforzar las capacidades relativas a la innovación digital

USICA¹⁴⁵

La Ley de Innovación y Competencia (USICA) de 2021 de los Estados Unidos de América es una de las mayores propuestas de legislación industrial en la historia de este país. Tiene como objetivo “reforzar los ecosistemas de innovación de los Estados Unidos de América por medio de inversiones en investigación, comercialización y fabricación”. Algunas de las principales políticas son las siguientes:

- Una financiación sustancial de la investigación científica y la producción de tecnologías concretas, así como su venta y la concesión de licencias de uso a los consumidores, en ámbitos decisivos como la IA, la robótica, la telefonía de 5G y los semiconductores.¹⁴⁶ Parte de la financiación se destinará a ampliar la educación en materia de ciencia, tecnología, ingeniería y matemáticas (CTIM).
- Medidas para garantizar la continuidad de las cadenas de suministro a fin de acceder a las materias primas, por ejemplo.
- Creación de centros tecnológicos en distintas partes del país para crear capacidades en esas regiones y estimular el crecimiento económico.

“Made in China”¹⁴⁷

El plan estratégico denominado “Made in China 2025”, de diez años de duración, se puso en marcha en 2016 para mejorar la posición de China en la cadena de valor mundial y convertirla en una de las economías preemergentes en materia de tecnología. Para lograrlo, el plan prevé lo siguiente:

- Desarrollar capacidad de fabricación de tecnologías avanzadas de vanguardia (es decir, tecnologías digitales de uso general).
- Priorizar las tecnologías pertenecientes a diez ámbitos concretos, a saber, las TI, la robótica y la automatización, los equipos aeroespaciales y de aviación, los equipos de ingeniería marítima

y la fabricación de buques de alta tecnología, el equipo ferroviario, los vehículos que ahorran energía, los equipos eléctricos, los nuevos materiales, la biomedicina y los aparatos médicos de alto rendimiento, y los equipos agrícolas.

Horizonte Europa¹⁴⁸

El proyecto “Horizonte Europa” es un programa de financiación de la investigación y la innovación, con fondos de 100.000 millones de euros, que estará en vigor hasta 2027. Su objetivo es crear, desarrollar y reforzar los conocimientos científicos y tecnológicos de Europa. Se basa en cuatro pilares:

- fomentar la competitividad científica de la UE;
- invertir en investigación para responder a los desafíos sociales y reforzar las capacidades industriales;
- impulsar la integración de la educación, la investigación y la innovación para facilitar esta última; y
- apoyar a los miembros de la UE para que refuercen su capacidad de innovación.

“Industrie 4.0”

El proyecto de Alemania “Industrie 4.0”, que se anunció en abril de 2013, es un plan estratégico para la fabricación que se centra en la transformación digital de la economía del país. Abarca ámbitos como la integración industrial, la integración de la información industrial, la digitalización de los procesos productivos, la IdC y la IA. La misión básica del plan es conducir a Alemania a la era digital.

3.5 Conclusiones y recomendaciones sobre políticas

Los estudios de casos sobre la crisis de la COVID-19, la urgencia del cambio climático y el auge de las tecnologías digitales de uso general han puesto de manifiesto que la dirección de la innovación ha cambiado y seguirá haciéndolo. También señalan las maneras en las que las políticas públicas pueden orientar la innovación en una dirección que satisfaga mejor las necesidades de las sociedades.

En el contexto de la COVID-19, los gobiernos han ayudado a reducir la incertidumbre relativa a la inversión y a mitigar los riesgos asociados con el descubrimiento, primero, y la elaboración, más tarde, de las vacunas. En cuanto al cambio climático, las políticas, normas, leyes y reglamentos de los gobiernos contribuyen a guiar a las empresas y los hogares hacia las tecnologías ecológicas. Por último, en relación con las tecnologías digitales, los gobiernos han financiado y creado tecnologías instrumentales que facilitan las innovaciones y su adopción (y lo siguen haciendo en el ámbito del 5G).

Es difícil deducir si ese progreso habría sido posible sin el apoyo del gobierno, puesto que se carece de elementos de contraste para comparar. Sin embargo, existen argumentos bien fundados para respaldar los efectos positivos de las medidas públicas en la velocidad y la dirección de la innovación. Además, los gobiernos están en una posición ideal para prevenir los posibles efectos negativos de la innovación, por ejemplo, en el empleo, y para crear los incentivos adecuados y crear un entorno que promueva y aproveche todo su potencial.

Las lecciones extraídas de los estudios de casos ponen de relieve varios mensajes clave sobre políticas:

- La dirección de la innovación es importante, puesto que los recursos que se invierten en innovación son escasos. Los encargados de la formulación de políticas no deben centrarse únicamente en cuánto se invierte, sino también en qué ámbitos.
- Los encargados de formular las políticas ejercen una influencia limitada en la dirección de la innovación a largo plazo, porque las oportunidades tecnológicas a largo plazo son impredecibles. Sin embargo, los gobiernos desempeñan un papel fundamental al financiar las ciencias básicas, puesto que propician los avances científicos y tecnológicos que determinan la dirección de la innovación en el futuro (aunque de manera incierta e impredecible).
- Los gobiernos formulan políticas que determinan la dirección de la innovación a corto y medio plazo de las siguientes formas:
 - Armonizan los incentivos a la innovación privada con las necesidades sociales.
 - Regulan las nuevas tecnologías (especialmente las digitales de uso general) y promueven la innovación y la adopción de nuevas tecnologías. Algunos ejemplos son la gobernanza de datos, la competencia e incluso las políticas de PI. Sin embargo, debe hallarse un equilibrio entre las medidas que facilitan la innovación, las que promueven la competencia y las que protegen los derechos relativos a la privacidad.
 - Financian la educación, la sanidad, las infraestructuras y otros bienes públicos. Por ejemplo, las tecnologías digitales de uso general ofrecen una oportunidad excelente para mejorar los resultados en materia de educación y salud.

Notas

- 1 Bresnahan y Trajtenberg (1995).
- 2 Eso es distinto del concepto de fallo de mercado, que justifica la intervención del gobierno. En este capítulo, la intervención del gobierno se debe a la idea de que no todo debe dejarse en manos del mercado (véase Foray *et al.*, 2012; Mowery *et al.*, 2010).
- 3 Organización Mundial de la Salud. *WHO Coronavirus (COVID-19) Dashboard* (Información de la OMS sobre el coronavirus [en línea]. Disponible en: <https://covid19.who.int> (consultado el 2 de enero de 2022).
- 4 Ansell y Mullins (2021), Crossley *et al.* (2021).
- 5 Esta cifra resultó ser 20 millones menor cuando se revisó por última vez en enero de 2021. Véase Mahler *et al.* (2021).
- 6 Véase *Perspectivas de la economía mundial* (FMI, 2021) y Kose y Sugawara (2020).
- 7 Consúltense www.gavi.org/vaccineswork/covid-19-vaccine-race.
- 8 Científicos del Centro Clínico de Salud Pública de Shanghai, dirigidos por el profesor Zhang Yongzhen, cartografiaron el genoma del virus causante de la COVID-19 en menos de 40 horas contadas desde que recibieron la primera muestra. El 5 de enero de 2020 transmitieron la cartografía genética del virus al Centro Nacional de Información Biotecnológica (CNBI) de los Estados Unidos de América. El 11 de enero de 2020 se publicó la secuencia cartografiada del virus de la COVID-19 (Campbell, 2020).
- 9 Bown y Bollyky (2021).
- 10 Acemoğlu y Linn (2004), Clemens y Rogers (2020) y Kyle y McGahan (2011).
- 11 Muchos economistas reconocen que el tamaño del mercado por sí solo no es incentivo suficiente para innovar. Algunos de los factores que también influyen en la decisión de las empresas farmacéuticas sobre si invertir en una enfermedad están relacionados con los costos y la duración del proceso de dar con una solución, así como con la capacidad de sufragar la innovación. Algunas enfermedades abarcan un gran volumen de población, pero afectan a un número reducido de pacientes. Véase Agarwal y Gaule (2021), Budish *et al.* (2015) y Kremer (2001, 2002).
- 12 Kelly (2020).
- 13 La CEPI es una alianza entre organizaciones públicas, privadas, filantrópicas y de la sociedad civil. Consúltense se https://cepi.net/research_dev/our-portfolio.
- 14 Economistas como Mariana Mazzucato (2016, 2018) llevan un decenio defendiendo este tipo de intervención para hacer frente a los desafíos sociales. Los economistas Pierre Azoulay y Benjamin Jones escribieron al Gobierno de los Estados Unidos de América para urgirle a que interviniera en este sentido (2020).
- 15 Bown and Bollyky (2021).
- 16 Regalado (2020).
- 17 Wagner and Wakeman (2016).
- 18 Adler (2021) y Diamond (2021). Inicialmente, el proyecto se denominó “Proyecto Manhattan 2” (Diamond, 2021).
- 19 Diamond (2021).
- 20 Véase Bonvillian *et al.* (2019).
- 21 Adler (2021) señala que el programa OWS está concebido como una réplica a escala de DARPA.
- 22 GAO (2021).
- 23 Ministerio de Negocios, Energía y Estrategia Industrial del Reino Unido (2020).
- 24 Para consultar una explicación de los distintos tipos de vacunas contra la COVID-19 y su funcionamiento, véase <https://www.gavi.org/vaccineswork/there-are-four-types-covid-19-vaccines-heres-how-they-work>.
- 25 La inscripción y el registro voluntarios pueden realizarse en línea mediante los siguientes sitios web del Servicio Nacional de Salud del Reino Unido: <https://www.nhs.uk/conditions/coronavirus-covid-19/research> y <https://digital.nhs.uk/dashboards/coronavirus-covid-19-vaccine-studies-volunteers-dashboard-uk> (consultado el 29 de noviembre de 2021).
- 26 Scheuber (2020).
- 27 Cookson (2021), Mancini *et al.* (2021).
- 28 Durmaz *et al.* (2015) y Gross y Sampat (2021).
- 29 Adler (2021).
- 30 Este fenómeno se denomina “colaboración paracaidista” (Liu *et al.*, 2021).
- 31 Esta sección está basada en el informe de fondo de Bhaven Sampat (2022) presentado a la OMPI.
- 32 Pardi *et al.* (2018) y Schlake *et al.* (2012).
- 33 Pardi *et al.* (2018).
- 34 La mayoría de las vacunas están destinadas a países de ingreso bajo (Xue y Ouellette, de próxima publicación).
- 35 El ARNm no pueden combinarse con el ADN de los pacientes para modificar su genotipo. Una vez que el ARNm sintético ha cumplido su función, se degrada y se elimina del cuerpo (Dolgin, 2021).
- 36 Shipman (2021).
- 37 Véase Myers (2020).
- 38 Véase Sohrabi *et al.* (2021).
- 39 Véase Agarwal y Gaule (2021).
- 40 Las vacunas se aprobaron por medio del régimen de autorización de uso de emergencia.
- 41 Agrawal *et al.* (2021).
- 42 Woolliscroft (2020).
- 43 Esta sección está basada en gran medida en el informe de fondo de Noailly (2022).
- 44 Grupo Intergubernamental de Expertos sobre el Cambio Climático (IPCC) (2014).
- 45 Hellegatte *et al.* (2017).
- 46 Consúltense <https://unfccc.int/process-and-meetings/the-paris-agreement/the-paris-agreement/que-es-el-acuerdo-de-paris> (consultada el 4 de diciembre de 2021).
- 47 Los Estados Unidos de América se fijaron, mediante

- la contribución determinada a nivel nacional (CDN) de 2015, el objetivo de reducir las emisiones de gases de efecto invernadero entre un 26% y un 28% respecto del volumen de emisiones de 2005 dentro de un plazo que vence en 2030. En Glasgow, en 2021, este país amplió su compromiso de CDN y prometió que en 2030 habrá reducido las emisiones entre un 50% y un 52% respecto del volumen de 2005. Para consultar el registro de CDN, véase <https://unfccc.int/es/NDCREG>, (consultada el 4 de diciembre de 2021).
- 48 Véase el análisis sobre las tecnologías de baja emisión de carbono en Noailly (2022). Las emisiones de gases de efecto invernadero se refieren a los gases que mantienen la temperatura de la Tierra más elevada de lo que debería. Estos gases, que absorben y vuelven a emitir el calor a la atmósfera, son el CO₂, el metano, el óxido nítrico, el ozono y el vapor de agua.
- 49 La energía nuclear también es una tecnología de mitigación del cambio climático. La definición de tecnología de baja emisión de carbono en consonancia con los objetivos de mitigación del cambio climático varía en función del país. Las centrales nucleares y las eléctricas alimentadas con gas se consideran técnicamente de baja emisión de carbono, aunque no en todos los países (Noailly, 2022).
- 50 Véase el glosario de terminología relativa al medio ambiente (IPCC, 2018).
- 51 Gerarden (2018).
- 52 Lim *et al.* (2021) y Mundaca y Luth Richter (2015).
- 53 Jansen *et al.* (2020).
- 54 Johnson (2020).
- 55 AIE (2020a).
- 56 La AIE mantiene una base de datos que recopila las políticas ambientales de los Estados miembros. Pueden hacerse búsquedas por tema, sector y tipo de política. Por ejemplo, pueden consultarse las políticas centradas en la tecnología, la I+D y la innovación: <https://www.iea.org/policies?topic=Technology%20R%26D%20and%20innovation>.
- 57 Bird *et al.* (2002).
- 58 Popp *et al.* (2010).
- 59 Popp (2019) y Popp *et al.* (2010).
- 60 McCulloch (2021).
- 61 Consúltese <https://carbonpricingdashboard.worldbank.org>.
- 62 Consúltese <https://unfccc.int/about-us/regional-collaboration-centres/the-ci-aca-initiative/about-carbon-pricing#eq-6>.
- 63 Rogge y Dütschke (2018).
- 64 Podría decirse que la política de tarifa regulada de Alemania no es una subvención (Wilke, 2011).
- 65 Noailly (2012).
- 66 IRENA y la Iniciativa de Política Climática (CPI) (2020).
- 67 El precio de este servicio de compensación de las emisiones de carbono es de 1.000 USD por tonelada. Se espera que disminuya con el tiempo, a medida que la central esté en pleno funcionamiento (Sigurdardottir y Rathi, 2021).
- 68 Cohen *et al.* (2020) y Noailly y Smeets (2015).
- 69 Entre 2015 y 2018, las grandes empresas de la industria del petróleo y el gas representaron el 37% de la inversión de capital mundial en proyectos de captura, almacenamiento y utilización de carbono (AIE, 2020b).
- 70 IPCC (2014).
- 71 OMPI (2017).
- 72 Consúltese <https://nssdc.gsfc.nasa.gov/nmc/spacecraft/display.action?id=1958-002B>.
- 73 Consúltese https://www1.eere.energy.gov/solar/pdfs/solar_timeline.pdf.
- 74 Gerarden (2018).
- 75 OMPI (2017).
- 76 OMC e IRENA (2021).
- 77 Entre 2013 y 2019 (IRENA y CPI, 2020).
- 78 OMC e IRENA (2021).
- 79 AIE (2021c).
- 80 Li *et al.* (2017).
- 81 Consúltese <http://ww2.arb.ca.gov/sites/default/files/movingca/cvrp.html>.
- 82 China redujo a la mitad las subvenciones de los vehículos eléctricos, y el programa de crédito fiscal de los Estados Unidos de América no se aplicó plenamente a fabricantes de automóviles como General Motors o Tesla (AIE, 2020c).
- 83 AIE (2020c).
- 84 Li *et al.* (2017).
- 85 Consúltese <https://www.economist.com/finance-and-economics/2021/03/27/the-impact-of-green-investors>.
- 86 Viscidi (2021). En el primer trimestre de 2020 se invirtieron 38.000 millones de USD y en el primer trimestre de 2021, 178.000 millones.
- 87 Flood y Cumbo (2021).
- 88 O'Dwyer y Edgecliffe-Johnson (2021).
- 89 Consúltese <https://www.whitehouse.gov/briefing-room/statements-releases/2021/07/28/fact-sheet-historic-bipartisan-infrastructure-deal>.
- 90 Consúltese <https://www.whitehouse.gov/briefing-room/statements-releases/2021/09/09/fact-sheet-biden-administration-advances-the-future-of-sustainable-fuels-in-american-aviation>.
- 91 Consúltese <https://www.whitehouse.gov/briefing-room/statements-releases/2021/10/28/president-biden-announces-the-build-back-better-framework>. Véase también Lobosco y Luhby (2021) y Sommer (2021).
- 92 Consúltese <https://www.consilium.europa.eu/en/policies/eu-plan-for-a-green-transition/>.
- 93 Consúltese http://www.cdb.com.cn/English/xwzx_715/khdt/202106/t20210630_8759.html.
- 94 Consúltese https://www.icao.int/environmental-protection/Pages/SAF_Stocktaking.aspx.
- 95 Véase Breakthrough Energy (2021).
- 96 Taylor (2020).
- 97 Popp (2019).
- 98 Gaddy *et al.* (2017).
- 99 Gaddy *et al.* (2017) y Noailly y Smeets (2015).
- 100 AIE (2021b).
- 101 Nanda *et al.* (2014).
- 102 Aghion *et al.* (2016) and Noailly and Smeets (2015).

- 103 Acemoglu *et al.* (2019).
- 104 Unruh (2000).
- 105 Fabrizio y Hawn (2013).
- 106 Según McCarthy *et al.* (2006) “todos los aspectos del aprendizaje o de cualquier otro rasgo de la inteligencia pueden, en principio, describirse con tanta precisión que sea posible crear una máquina que los imite”.
- 107 Los académicos debaten sobre si la IA y las tecnologías relacionadas constituyen tecnologías digitales de uso general o instrumentales, por un lado, o “invenciones de métodos de invención”, por otro (Bigliardi *et al.*, 2020; Cockburn *et al.*, 2019; Martinelli *et al.*, 2021). Cockburn *et al.* (2019) defienden que existen diferencias entre las tecnologías creadas para desempeñar tareas relativamente restringidas, como los robots, y aquellas que tienen una amplia esfera de aplicación. Al tratar de distinguirlas, los coautores combinan la definición de la IA y las tecnologías relacionadas como una tecnología de uso general con la idea de “invención de métodos de invención”. Llegaron a la conclusión de que son métodos de invención de uso general. No obstante, estas tecnologías digitales pueden influir en la dirección de la innovación a largo plazo.
- 108 Se debate sobre si el auge de la IA y las tecnologías relacionadas son extensiones de la Tercera Revolución Industrial. La acuñación de este término se atribuye a Klaus Schwab, fundador y director ejecutivo del Foro Económico Mundial (Schwab, 2016).
- 109 Véase el capítulo 3, sobre los vehículos autónomos, en OMPI (2019a).
- 110 Es más probable que las empresas adopten la IA cuando ya utilizan la inteligencia de datos y cuentan con capacidad informática suficiente (Brynjolfsson y McAfee, 2014).
- 111 Según Yilmazkuday (de próxima publicación), el gasto de consumo aumentó un 16% y la compra en línea, un 21% en comparación con la tendencia prepandémica.
- 112 Geradin (2018) y Hinings *et al.* (2018).
- 113 Véase el capítulo 3, sobre los vehículos autónomos, en OMPI (2019a).
- 114 Véase el capítulo 3, sobre los robots, en OMPI (2015).
- 115 Véase OMPI (2019b) para consultar más ejemplos.
- 116 Brynjolfsson *et al.* (2017).
- 117 Véase OMPI (2019b), sobre los dilemas éticos que se plantean en torno a las tecnologías de IA.
- 118 Brynjolfsson *et al.* (2018).
- 119 Véase Kudumala *et al.* (2021) para consultar otros ejemplos.
- 120 Dogan *et al.* (2021), Khan *et al.* (2021) y Vaishya *et al.* (2020).
- 121 Consúltense <https://about.ups.com/be/en/social-impact/the-ups-foundation/health-humanitarian-relief/delivering-what-matters-equitable-vaccine-access-globally.html>.
- 122 Trajtenberg (2019).
- 123 Aghion *et al.* (2017) y Brynjolfsson y McAfee (2014).
- 124 Trajtenberg (2019).
- 125 Fu y Liu (2022).
- 126 Trajtenberg (2019).
- 127 Véase Cockburn *et al.* (2019); Graetz y Michaels (2018).
- 128 Véase Espinoza (2021), Espinoza y Beioley (2021), Kalra (2021) y Song (2021). Los expedientes del Departamento de Justicia de los Estados Unidos de América pueden consultarse en línea en el sitio web <https://www.justice.gov/atr/case/us-and-plaintiff-states-v-google-llc>.
- 129 En este contexto, el término “plataforma” se utiliza en sentido amplio. Esas cinco empresas prestan servicios diferentes y tienen distintos modelos de negocio (Gilbert, 2021).
- 130 Conferencia de las Naciones Unidas sobre Comercio y Desarrollo (UNCTAD, 2019).
- 131 Gawer (2021) y Varian (2021).
- 132 Véase OCDE (2021), págs. 7 y 8.
- 133 La Comisión Australiana de la Competencia y Asuntos del Consumidor, el organismo francés regulador de la competencia (*Autorité de la concurrence*) y la Dirección de Competencia y Mercado del Reino Unido concluyeron sus estudios el 21 de septiembre de 2021, el 7 de junio de 2021, y el 1 de julio de 2021, respectivamente. Para obtener más información, consúltense <https://www.accc.gov.au/publications/digital-advertising-services-inquiry-final-report>, <https://www.autoritedelaconcurrence.fr/fr/communiqués-de-presse/lautorite-de-la-concurrence-sanctionne-google-hauteur-de-220-millions-deuros>, <https://www.gov.uk/cma-cases/online-platforms-and-digital-advertising-market-study>. La Unión Europea inició la investigación el 22 de junio de 2021 (consúltense https://ec.europa.eu/commission/presscorner/detail/en/ip_21_3143), mientras que el Departamento de Justicia estadounidense supuestamente está preparándose para demandar a Google (consúltense www.reuters.com/technology/us-doj-preparing-sue-google-over-digital-ads-business-bloomberg-news-2021-09-01).
- 134 Por ejemplo, la investigación efectuada por la Comisión Europea sobre Amazon y Google (Geradin, 2018) o la realizada por las autoridades indias sobre Amazon y Flipkart (Kalra, 2021).
- 135 Por ejemplo, Google supuestamente pagaba a otros prestadores de servicios para que su motor de búsqueda fuera el predeterminado (Molla y Estes, 2020; Nellis, 2020; Park, 2021).
- 136 La Comisión Federal de Comercio de los Estados Unidos de América defiende que la adquisición de Instagram y WhatsApp por parte de Facebook constituye un comportamiento anticompetitivo que perjudica a los consumidores. Consúltense <https://www.ftc.gov/enforcement/cases-proceedings/191-0134/facebook-inc-ftc-v>.

- 137 Gilbert (2021).
- 138 Waller (2009).
- 139 Véase Bryan *et al.* (2020), Budish *et al.* (2015) y Hanisch y Rake (2021).
- 140 Sampat (2022).
- 141 Nelson (1961) y Scherer (2011).
- 142 En la XXI Conferencia de las Partes en la Convención Marco de las Naciones Unidas sobre el Cambio Climático (CMNUCC), celebrada en París (Francia) el 12 de diciembre de 2015, 196 países se comprometieron a limitar el aumento de la temperatura mundial por debajo de 2 °C. Consúltese <https://unfccc.int/process-and-meetings/the-paris-agreement/the-paris-agreement/key-aspects-of-the-paris-agreement>.
- 143 AIE (2021c).
- 144 El Diálogo de la OMPI sobre la PI y las Tecnologías de Vanguardia proporciona un foro para tratar estas cuestiones.
- 145 Véase <https://www.whitehouse.gov/wp-content/uploads/2021/05/SAP-S.-1260.pdf>.
- 146 De los 250.000 millones de USD, algo más de 50.000 millones se destinarán a la Fundación Nacional de las Ciencias (NSF).
- 147 Consúltese http://english.www.gov.cn/premier/news/2017/01/29/content_281475554068056.htm.
- 148 Consúltese https://ec.europa.eu/info/research-and-innovation/funding/funding-opportunities/funding-programmes-and-open-calls/horizon-europe_en.

Referencias

- Acemoglu, D. and J. Linn (2004). Market size in innovation: Theory and evidence from the pharmaceutical industry. *Quarterly Journal of Economics*, 119, 1049–1090.
- Acemoglu, D., P. Aghion, L. Barrage and D. Hemous (2019). Climate Change, Directed Innovation, and Energy Transition: The Long-Run Consequences of the Shale Gas Revolution. Meeting Papers 1302, *Society for Economic Dynamics*.
- Adler, D. (2021). Inside Operation Warp Speed: A new model for industrial policy. *American Affairs Journal*, 5(2).
- Agarwal, R. and P. Gaulé (2021). What Drives Innovation? Lessons from COVID-19 R&D. *IZA Discussion Papers*, no. 14079. Institute of Labor Economics (IZA).
- Aghion, P., A. Dechezleprêtre, D. Hémous, R. Martin and J. Van Reenen (2016). Carbon taxes, path dependency, and directed technical change: Evidence from the auto industry. *Journal of Political Economy*, 124, 1–51. DOI: <https://doi.org/10.1086/684581>.
- Aghion, P., B.F. Jones and C.I. Jones (2017). Artificial Intelligence and Economic Growth. *Working Paper Series*, no. 23928. Cambridge, MA: National Bureau of Economic Research. DOI: <https://doi.org/10.3386/w23928>.
- Agrawal, G., H. Ahlawat and M. Dewhurst (2021). The biopharma industry has shown what it can achieve when it works at its best. How can the industry build on this renewed sense of purpose in the years ahead? *McKinsey & Company Pharmaceutical & Medical Products Practice*. McKinsey & Company.
- Ansell, R. and J.P. Mullins (2021). COVID-19 ends longest employment recovery and expansion in current employment statistics (CES) history, causing unprecedented job losses in 2020. *Monthly Labor Review*. Washington, D.C.: U.S. Bureau of Labor Statistics.
- Azoulay, P. and B. Jones (2020). Beat COVID-19 through innovation. *Science*, 368, 553–553. DOI: <https://doi.org/10/ggv2dd>.
- Bigliardi, B., E. Bottani and G. Casella (2020). Enabling technologies, application areas and impact of industry 4.0: A bibliographic analysis. International Conference on Industry 4.0 and Smart Manufacturing (ISM 2019), *Procedia Manufacturing*, 42, 322–326. DOI: <https://doi.org/10/gmqb4p>.
- Bird, L., R. Wüstenhagen and J. Aabakken (2002). A review of international green power markets: Recent experience, trends, and market drivers. *Renewable and Sustainable Energy Reviews*, 6, 513–536. DOI: <https://doi.org/10/dg7z96>.
- Bonvillian, W.B., R.V. Atta and P. Windham (eds) (2019). *The DARPA Model for Transformative Technologies: Perspectives on the U.S. Defense Advanced Research Projects Agency*. Open Book Publishers.
- Bown, C.P. and T. Bollyky, T. (2021). How COVID-19 Vaccine Supply Chains Emerged in the Midst of a Pandemic. Working Paper 21-12, *The World Economy*.
- Breakthrough Energy (2021). Breakthrough Energy and MI: Partners in delivering our net-zero future. *Mission Innovation*. Available at: <http://mission-innovation.net/2021/03/16/breakthrough-energy-and-mi-partners-in-delivering-our-net-zero-future> (accessed January 13 2022).
- Bresnahan, T.F. and M. Trajtenberg (1995). General purpose technologies “Engines of growth”? *Quarterly Journal of Economics*, 65, 83–108. DOI: <https://doi.org/10/fgvj5w>.
- Bryan, K., J. Lemus and G. Marshall (2020). Crises and the Direction of Innovation. Working paper, available at SSRN: <https://ssrn.com/abstract=3587973>.
- Brynjolfsson, E. and A. McAfee (2014). *The Second Machine Age: Work Progress, and Prosperity in a Time of Brilliant Technologies*. New York: W. Norton & Company.
- Brynjolfsson, E., X. Hui and M. Liu (2018). Does Machine Translation Affect International Trade? Evidence from a Large Digital Platform. *Working Paper Series*, no. 24917. Cambridge, MA: National Bureau of Economic Research. DOI: <https://doi.org/10.3386/w24917>.
- Brynjolfsson, E., D. Rock and C. Syverson (2017). Artificial Intelligence and the Modern Productivity Paradox: A Clash of Expectations and Statistics. *Working Paper Series*, no. 24001. Cambridge, MA: National Bureau of Economic Research. DOI: <https://doi.org/10.3386/w24001>.
- Budish, E., B.N. Roin and H. Williams (2015). Do firms underinvest in long-term research? Evidence from cancer clinical trials. *American Economic Review*, 105, 2044–2085. DOI: <https://doi.org/10/gdz4zg>.
- Campbell, C. (2020). Chinese scientist who first sequenced COVID-19 genome speaks about controversies surrounding his work. *Time*. Available at: <https://time.com/5882918/zhang-yongzhen-interview-china-coronavirus-genome>.

- Clemens, J. and P. Rogers (2020). Demand Shocks, Procurement Policies, and the Nature of Medical Innovation: Evidence from Wartime Prosthetic Device Patents. *Working Paper Series*, no. 26679. Cambridge, MA: National Bureau of Economic Research. DOI: <https://doi.org/10.3386/w26679>.
- Cockburn, I.M., R. Henderson and S. Stern (2019). The impact of artificial intelligence on innovation: An exploratory analysis. In Agrawal, A., J. Gans and A. Goldfarb (eds), *The Economics of Artificial Intelligence: An Agenda*. University of Chicago Press, 115–146.
- Cohen, L., U.G. Gurun and Q.H. Nguyen (2020). The ESG-Innovation Disconnect: Evidence from Green Patenting. *Working Paper Series*, no. 27990. Cambridge, MA: National Bureau of Economic Research. DOI: <https://doi.org/10.3386/w27990>.
- Cookson, C. (2021). How the UK boosted its vaccine manufacturing capacity. *Financial Times*. Available at: <https://www.ft.com/content/662ab296-2aef-4179-907c-5dba5c355d86>.
- Crossley, T.F., P. Fisher and H. Low (2021). The heterogeneous and regressive consequences of COVID-19: Evidence from high quality panel data. *Journal of Public Economics*, 193, 104334. DOI: <https://doi.org/10/gh6g85>.
- Diamond, D. (2021). The crash landing of “Operation Warp Speed.” *Politico*. Available at: <https://www.politico.com/news/2021/01/17/crash-landing-of-operation-warp-speed-459892>.
- Dogan, O., S. Tiwari, M.A. Jabbar and S. Guggari (2021). A systematic review on AI/ML approaches against COVID-19 outbreak. *Complex & Intelligent Systems*, 7, 2655–2678. DOI: <https://doi.org/10/gnqxs2>.
- Dolgin, E. (2021). The tangled history of mRNA vaccines. *Nature*, 597, 318–324. DOI: <https://doi.org/10/gmthh9>.
- Durmaz, A.A., E. Karaca, U. Demkow, G. Toruner, J. Schoumans and O. Cogulu (2015). Evolution of genetic techniques: Past, present, and beyond. *BioMed Research International*, 2015, 461524. DOI: <https://doi.org/10/gb57gp>.
- Espinoza, J. (2021). EU lawmakers agree on rules to target Big Tech. *Financial Times*. Available at: <https://www.ft.com/content/045346cf-c28a-4f6f-9dce-4f8426129bf9>.
- Espinoza, J. and K. Beioley (2021). UK competition regulator plans probe into Amazon’s use of data. *Financial Times*. Available at: <https://www.ft.com/content/e169cee6-880d-4b8d-acf7-32c2f774f852>.
- Fabrizio, K.R. and O. Hawn (2013). Enabling diffusion: How complementary inputs moderate the response to environmental policy. *Research Policy*, 42, 1099–1111. DOI: <https://doi.org/10.1016/j.respol.2013.02.003>.
- Flood, C. and J. Cumbo (2021). Dutch pension giant ABP to dump €15bn in fossil fuel holdings. *Financial Times*. Available at: <https://www.ft.com/content/425d7c82-e69a-4fe2-9767-8c92bda731e7>.
- Foray, D., D.C. Mowery and R.R. Nelson (2012). Public R&D and social challenges: What lessons from mission R&D programs? *Research Policy*, 41(10), 1697–1702. DOI: <https://doi.org/10/gfdcf>.
- Fu, X. and L. Shi (2022). Direction of Innovation in Developing Countries and its Driving Forces. *WIPO Economic Research Working Paper Series*, no. 69. Geneva: World Intellectual Property Report.
- Gaddy, B.E., V. Sivaram, T.B. Jones and L. Wayman (2017). Venture capital and cleantech: The wrong model for energy innovation. *Energy Policy*, 102, 385–395.
- GAO (Government Accountability Office) (2021). *Operation Warp Speed: Accelerated COVID-19 Vaccine Development Status and Efforts to Address Manufacturing Challenges, Report to Congressional Addresses*. Washington, D.C.: United States Government Accountability Office. Available at: <https://www.gao.gov/products/gao-21-319>.
- Gawer, A. (2021). Digital platforms and ecosystems: Remarks on the dominant organizational forms of the digital age. *Innovation*, 0, 1–15. DOI: <https://doi.org/10/gmzkwk>.
- Geradin, D. (2018). What Should EU Competition Policy Do to Address the Concerns Raised by the Digital Platforms’ Market Power? *TILEC Discussion Paper*, no. 2018–041. DOI: <https://doi.org/10.2139/ssrn.3299910>.
- Gerarden, T.D. (2018). Demanding innovation: The impact of consumer subsidies on solar panel production costs. Cambridge, MA: Harvard Environmental Economics Program, 2018. Available at: <https://heep.hks.harvard.edu/publications/demanding-innovation-impact-consumer-subsidies-solar-panel-production-costs>.
- Gilbert, R.J. (2021). Separation: A cure for abuse of platform dominance? *Information Economics & Policy: Antitrust in the Digital Economy*, 54, 100876. DOI: <https://doi.org/10/ghpcvk>.
- Global Health Centre. 2021. COVID-19 Vaccines R&D Investments. Graduate Institute of International and Development Studies. Retrieved from: knowledgeportalia.org/covid19-r-d-funding (accessed August 1, 2021).
- Graetz, G. and G. Michaels (2018). Robots at work. *The Review of Economics and Statistics*, 100, 753–768. DOI: <https://doi.org/10/ggfw8r>.

- Gross, D. and B. Sampat (2021). Crisis Innovation Policy from World War II to COVID-19. *Working Paper Series*, no. 28915. Cambridge, MA: National Bureau of Economic Research. DOI: <https://doi.org/10.3386/w28915>.
- Hanisch, M. and B. Rake (2021). Repurposing Without Purpose? Early Innovation Responses to the COVID-19 Crisis: Evidence from Clinical Trials. *R&D Management*, Special issue paper. DOI: <https://doi.org/10/gh7k87>.
- Hellegatte, S., A. Vogt-Schilb, M. Bangalore and J. Rozenberg (2017). *Unbreakable: Building the Resilience of the Poor in the Face of Natural Disaster, Climate Change and Development Series*. Washington, D.C.: World Bank.
- Hinings, B., T. Gegenhuber and R. Greenwood (2018). Digital innovation and transformation: An institutional perspective. *Information and Organization*, 28, 52–61. DOI: <https://doi.org/10/gdhskm>.
- IEA (International Energy Agency) (2020a). *Energy Technology RD&D Budgets Overview, IEA Energy Technology RD&D Budgets*. Paris: International Energy Agency. Available at: <https://www.iea.org/reports/energy-technology-rdd-budgets-overview>.
- IEA (2020b). *The Oil and Gas Industry in Energy Transitions: World Energy Outlook special report*. Paris: International Energy Agency. Available at: <https://www.iea.org/reports/the-oil-and-gas-industry-in-energy-transitions>.
- IEA (2020c). *Global EV Outlook 2020: Entering the Decade of Electric Drive?* Paris: International Energy Agency. Available at: <https://www.iea.org/reports/global-ev-outlook-2020>.
- IEA (2021a). *Global EV Outlook 2021*. Paris: International Energy Agency. Available at: <https://www.iea.org/reports/global-ev-outlook-2021>.
- IEA (2021b). *Ten Years of Clean Energy Start-ups*. Paris: International Energy Agency. Available at: <https://www.iea.org/articles/ten-years-of-clean-energy-start-ups>.
- IEA (2021c). *Net Zero by 2050*. Paris: International Energy Agency. Available at: <https://www.iea.org/reports/net-zero-by-2050>.
- IMF (International Monetary Fund) (2021). *World Economic Outlook Update, July 2021: Fault Lines Widen in the Global Recovery*. Washington D.C.: International Monetary Fund. Available at: <https://www.imf.org/en/Publications/WEO/Issues/2021/07/27/world-economic-outlook-update-july-2021>.
- IPCC (Intergovernmental Panel on Climate Change) (2014). *Climate Change 2014: Synthesis Report: Contribution of Working Groups I, II and III to the Fifth Assessment Report of the Intergovernmental Panel on Climate Change (IPCC Fifth Assessment Report)*. Geneva: Intergovernmental Panel on Climate Change. Available at: <https://www.ipcc.ch/report/ar5/syr>.
- IPCC (2018). Annex I: Glossary. In Matthews, J.B.R., M. Babiker, H. de Coninck, S. Connors, R. Diemen, R. Djalante et al. (eds), *Global Warming of 1.5°C: An IPCC Special Report on the Impacts of Global Warming of 1.5°C above Pre-Industrial Levels and Related Global Greenhouse Gas Emission Pathways, in the Context of Strengthening the Global Response to the Threat of Climate Change, Sustainable Development, and Efforts to Eradicate Poverty*. Geneva: Intergovernmental Panel on Climate Change. Available at: <https://www.ipcc.ch/sr15/download>.
- IRENA and CPI (International Renewable Energy Agency and Climate Policy Initiative) (2020). *Global Landscape of Renewable Energy Finance 2020*. Abu Dhabi: International Renewable Energy Agency. Available at: <https://www.irena.org/publications/2020/Nov/Global-Landscape-of-Renewable-Energy-Finance-2020>.
- Jansen, M., I. Staffell, L. Kitzing, S. Quoilin, E. Wiggelinkhuizen, B. Bulder et al. (2020). Offshore wind competitiveness in mature markets without subsidy. *Nature Energy*, 5(8), 614–622. <https://doi.org/10/gh75pp>.
- Johnson, S.K. (2020). Offshore wind in Europe won't need subsidies much longer. *Ars Technica*. Available at: <https://arstechnica.com/science/2020/07/offshore-wind-in-europe-wont-need-subsidies-much-longer> (accessed August 18, 2021).
- Kalra, A. (2021). Amazon documents reveal company's strategy to dodge India's regulators. *Reuters*. Available at: <https://www.reuters.com/investigates/special-report/amazon-india-operation>.
- Kelly, É. (2020). EU announces second wave of research response to COVID-19. *Science Business*. Available at: <https://sciencebusiness.net/covid-19/news/eu-announces-second-wave-research-response-covid-19>.
- Khan, M., M.T. Mehran, Z.U. Haq, Z. Ullah, S.R. Naqvi, M. Ihsan and H. Abbass (2021). Applications of artificial intelligence in COVID-19 pandemic: A comprehensive review. *Expert Systems with Applications*, 185, 115695. DOI: <https://doi.org/10/gnqxs3>.
- Kose, M.A. and N. Sugawara (2020). Understanding the depth of the 2020 global recession in 5 charts. *World Bank Blogs*. Available at: <https://blogs.worldbank.org/opendata/understanding-depth-2020-global-recession-5-charts> (accessed November 23, 2021).
- Kremer, M. (2001). Creating markets for new vaccines – Part I: Rationale. In Jaffe, A., J. Lerner and S. Stern (eds), *Innovation Policy and the Economy, Volume 1*. MIT Press, 35–72. DOI: <https://doi.org/10.1086/ipe.1.25056141>.
- Kremer, M. (2002). Pharmaceuticals and the developing world. *Journal of Economic Perspectives*, 16, 67–90.

- Kudumala, A., D. Ressler and W. Miranda (2021). Scaling up AI across the life sciences value chain. *Deloitte Insights*. Deloitte. Available at: <https://www2.deloitte.com/us/en/insights/industry/life-sciences/ai-and-pharma.html>.
- Kyle, M.K. and A.M. McGahan (2011). Investments in pharmaceuticals before and after TRIPS. *The Review of Economics and Statistics*, 94, 1157–1172. DOI: https://doi.org/10.1162/REST_a_00214.
- Li, S., L. Tong, J. Xing and Y. Zhou (2017). The market for electric vehicles: Indirect network effects and policy design. *Journal of the Association of Environmental and Resource Economists*, 4, 89–133. DOI: <https://doi.org/10/gj8rcc>.
- Lim, T., T. Tang and W.M. Bowen (2021). The impact of intergovernmental grants on innovation in clean energy and energy conservation: Evidence from the American Recovery and Reinvestment Act. *Energy Policy*, 148, 111923. DOI: <https://doi.org/10/gmhrd4>.
- Liu, M., Y. Bu, C. Chen, J. Xu, D. Li, Y. Leng et al. (2021). Can pandemics transform scientific novelty? Evidence from COVID-19. *Journal of the Association for Information Science and Technology*. DOI: <https://doi.org/10.1002/asi.24612>.
- Lobosco, K. and T. Luhby (2021). Build Back Better Bill: 10 things you didn't know. *CNNpolitics*. Available at: <https://edition.cnn.com/2021/12/07/politics/biden-build-back-better-spending-bill/index.html> (accessed December 12, 2021).
- Mahler, D.G., N. Yonzan, C. Lakner, R.A. Casaneda Aguilar and H. Wu (2021). Updated estimates of the impact of COVID-19 on global poverty: Turning the corner on the pandemic in 2021? *World Bank Blogs*. Available at: <https://blogs.worldbank.org/opendata/updated-estimates-impact-covid-19-global-poverty-turning-corner-pandemic-2021> (accessed November 23, 2021).
- Mancini, D.P., H. Kuchler, J. Pickard and J. Cameron-Chileshe (2021). Flagship UK vaccine manufacturing centre put up for sale. *Financial Times*. Available at: <https://www.ft.com/content/d312c4cb-201d-4ce6-a98f-715b20d77998>.
- Martinelli, A., A. Mina, A. and M. Moggi (2021). The enabling technologies of industry 4.0: examining the seeds of the fourth industrial revolution. *Industrial and Corporate Change*, 30, 161–188. DOI: <https://doi.org/10/gjscgj>.
- Mazzucato, M. (2016). From market fixing to market-creating: A new framework for innovation policy. *Industry and Innovation*, 23, 140–156. DOI: <https://doi.org/10.1080/13662716.2016.1146124>.
- Mazzucato, M. (2018). Mission-oriented innovation policies: challenges and opportunities. *Industrial and Corporate Change*, 27, 803–815. DOI: <https://doi.org/10/gfdbxb>.
- McCarthy, J., M. Minsky, N. Rochester and C. Shannon (2006). A proposal for the Dartmouth summer research project on artificial intelligence. *AI Magazine*, 27(4), 12. DOI: <https://doi.org/10.1609/aimag.v27i4.1904>.
- McCulloch, S. (2021). Carbon capture in 2021: Off and running or another false start? *IEA*. Available at: <https://www.iea.org/commentaries/carbon-capture-in-2021-off-and-running-or-another-false-start> (accessed December 5, 2021).
- Molla, R. and A.C. Estes, A.C. (2020). Google's antitrust lawsuits, explained. *Vox*. Available at: <https://www.vox.com/recode/2020/12/16/22179085/google-antitrust-monopoly-state-lawsuit-ad-tech-search-facebook> (accessed 12 August, 2021).
- Mowery, D.C., Nelson, R.R., Martin, B.R. (2010). Technology policy and global warming: Why new policy models are needed (or why putting new wine in old bottles won't work). *Research Policy*, 39, 1011–1023. <https://doi.org/10/bqjwxh>
- Mundaca, L., Luth Richter, J. (2015). Assessing 'green energy economy' stimulus packages: Evidence from the U.S. programs targeting renewable energy. *Renewable and Sustainable Energy Reviews*. 42, 1174–1186. <https://doi.org/10/f3n642>
- Myers, K. (2020). The elasticity of science. *American Economic Journal: Applied Economics*. 12, 103–134. <https://doi.org/10/gjh9xc>
- Nanda, R., Younge, K., Fleming, L. (2014). Innovation and entrepreneurship in renewable energy, in: Jaffe, A.B., Jones, B.F. (eds), *The Changing Frontier: Rethinking Science and Innovation Policy*. University of Chicago Press, pp. 199–232. <https://doi.org/10.7208/chicago/9780226286860.003.0008>
- Nellis, S. (2020). UK regulators take aim at Apple's search engine deal with Google. *Reuters*. Available at: <https://www.reuters.com/article/us-apple-google-idUSKBN242748>.
- Nelson, R.R. (1961). Uncertainty, learning, and the economics of parallel research and development efforts. *The Review of Economics and Statistics*, 43, 351–364. DOI: <https://doi.org/10/ct87xp>.
- Noailly, J. (2012). Improving the energy efficiency of buildings: The impact of environmental policy on technological innovation. *Energy Economics*, 34, 795–806. DOI: <https://doi.org/10/fnfqc6>.
- Noailly, J. (2022). Directing Innovation Towards a Low-Carbon Future. *WIPO Economic Research Working Paper Series*, no. 73. Geneva: World Intellectual Property Report.

- Noailly, J. and R. Smeets (2015). Directing technical change from fossil-fuel to renewable energy innovation: An application using firm-level patent data. *Journal of Environmental Economics and Management*, 72, 15–37. DOI: <https://doi.org/10.1016/j.jeem.2015.03.004>.
- O'Dwyer, M., and A. Edgecliffe-Johnson (2021, August 30). Big Four accounting firms rush to join the ESG bandwagon. *Financial Times*. Available at: <https://www.ft.com/content/4a47fb4a-4a10-4c05-8c5d-02d83052bee7>.
- OECD (Organisation for Economic Cooperation and Development) (2021). Data Portability, Interoperability and Digital Platform Competition. *OECD Competition Committee Discussion Paper*. Paris: Organisation for Economic Co-operation and Development. Available at: <https://www.oecd.org/daf/competition/data-portability-interoperability-and-competition.htm>.
- Pardi, N., M.J. Hogan, F.W. Porter and D. Weissman (2018). mRNA vaccines – A new era in vaccinology. *Nature Reviews Drug Discovery*, 17, 261–279. DOI: <https://doi.org/10/gcsmgr>.
- Park, K. (2021). South Korean antitrust regulator fines Google \$177M for abusing market dominance. *TechCrunch*. Available at: <https://social.techcrunch.com/2021/09/14/south-korean-antitrust-regulator-fines-google-177m-for-abusing-market-dominance/> (accessed December 8, 2021).
- Popp, D. (2019). Promoting Innovation for Low-Carbon Technologies (No. 2019–14), Policy Proposal. Washington D.C.: The Hamilton Project.
- Popp, D., R.D. Newell and A.B. Jaffe (2010). Energy, the environment, and technological change. In Hall, B.H. and N. Rosenberg (eds), *Economics of Innovation*. Amsterdam: Elsevier, 874–937.
- Regalado, A. (2020). A coronavirus vaccine will take at least 18 months – if it works at all. *MIT Technological Review*. Available at: <https://www.technologyreview.com/2020/03/10/916678/a-coronavirus-vaccine-will-take-at-least-18-months-if-it-works-at-all>.
- Rogge, K.S. and E. Dütschke (2018). What makes them believe in the low-carbon energy transition? Exploring corporate perceptions of the credibility of climate policy mixes. *Environmental Science and Policy*, 87, 74–84.
- Sampat, B. (2022). World War II and the Direction of Medical Innovation. *WIPO Economic Research Working Paper Series*, no. 70. Geneva: World Intellectual Property Organization.
- Scherer, F.M. (2011). Parallel R&D Paths Revisited. *HKS Faculty Research Working Paper Series*, no. RWP11-022. Boston: Harvard Kennedy School.
- Scheuber, A. (2020). COVID-19 vaccine secures new government investment. *Imperial College London News*. Available at: <https://www.imperial.ac.uk/news/197573/covid-19-vaccine-secures-government-investment> (accessed November 29, 2021).
- Schlake, T., A. Thess, M. Fotin-Mleczek and K.-J. Kallen (2012). Developing mRNA-vaccine technologies. *RNA Biology*, 9, 1319–1330. DOI: <https://doi.org/10/f4qzdb>.
- Schwab, K. (2016). The Fourth Industrial Revolution: What it means and how to respond. *World Economic Forum*. Available at: <https://www.weforum.org/agenda/2016/01/the-fourth-industrial-revolution-what-it-means-and-how-to-respond> (accessed October 12, 2021).
- Shipman, M. (2021). Why mRNA won't replace other vaccine types just yet. *World Economic Forum*. Available at: <https://www.weforum.org/agenda/2021/09/why-mrna-wont-replace-other-vaccine-types-just-yet> (accessed December 2, 2021).
- Sigurdardottir, R. and A. Rathi (2021). World's largest carbon-sucking plant starts making tiny dent in emissions. *Bloomberg.com*. Available at: <https://www.bloomberglia.com/2021/09/12/worlds-largest-carbon-sucking-plant-starts-making-tiny-dent-in-emissions>.
- Sohrabi, C., G. Mathew, T. Franchi, A. Kerwan, M. Griffin, J. Solei C Del Mundo et al. (2021). Impact of the coronavirus (COVID-19) pandemic on scientific research and implications for clinical academic training – A review. *International Journal of Surgery*, 86, 57–63. DOI: <https://doi.org/10.1016/j.ijssu.2020.12.008>.
- Sommer, L. (2021). What losing Build Back Better means for climate change. *NPR*. Available at: <https://www.ctpublic.org/2021-12-20/what-losing-build-back-better-means-for-climate-change>.
- Song, J. (2021). Google fined \$177m in South Korea for abusing market dominance. *Financial Times*. Available at: <https://www.ft.com/content/fbd758b2-9f99-4d60-a76b-82eeb5985542>.
- Taylor, M. (2020). *Energy Subsidies: Evolution in the Global Energy Transformation to 2050*. Abu Dhabi: International Renewable Energy Agency. Available at: <https://www.irena.org/publications/2020/Apr/Energy-Subsidies-2020>.
- Trajtenberg, M. (2019). Artificial Intelligence as the Next GPT: A Political-Economy Perspective. In Agrawal, A., J. Gans and A. Goldfarb (eds), *The Economics of Artificial Intelligence*. University of Chicago Press, 175–186. DOI: <https://doi.org/10.7208/chicago/9780226613475.003.0006>.
- Trajtenberg, M., I. Hamdan-Livramento and A. Daly. (2022). *Harnessing digital-general purpose technology*. Unpublished background research commissioned for the World Intellectual Property Report 2022. Geneva: World Intellectual Property Organization.

- UK BEIS (UK Department for Business, Energy and Industrial Strategy) (2020). *UK Vaccine Taskforce 2020 Achievements and Future Strategy: End of Year Report*. London: UK Department for Business, Energy and Industrial Strategy. Available at: https://assets.publishing.service.gov.uk/government/uploads/system/uploads/attachment_data/file/1027646/vtf-interim-report.pdf.
- UNCTAD (United Nations Conference on Trade and Development) (2019). *Competition Issues in the Digital Economy, Trade and Development Board*. Geneva: United Nations Conference on Trade and Development. Available at: https://unctad.org/system/files/official-document/ciclpd54_en.pdf.
- Unruh, G.C. (2000). Understanding carbon lock-in. *Energy Policy*, 28, 817–830. DOI: [https://doi.org/10.1016/S0301-4215\(00\)00070-7](https://doi.org/10.1016/S0301-4215(00)00070-7).
- Vaishya, R., M. Javaid, I.H. Khan and A. Haleem (2020). Artificial Intelligence (AI) applications for COVID-19 pandemic. *Diabetes Metabolic Syndrome: Clinical Research and Reviews*, 14, 337–339. DOI: <https://doi.org/10/ggvfcfp>.
- Varian, H.R. (2021). Seven deadly sins of tech? *Information Economics and Policy: Antitrust in the Digital Economy*, 54, 100893. DOI: <https://doi.org/10/ghc4t6>.
- Viscidi, L. (2021). Sustainable investment is flooding the market. *Foreign Policy*. Available at: <https://foreignpolicy.com/2021/06/11/sustainable-investment-is-flooding-the-market>.
- Wagner, S. and S. Wakeman (2016). What do patent-based measures tell us about product commercialization? Evidence from the pharmaceutical industry. *Research Policy*, 45, 1091–1102.
- Waller, S. (2009). The past, present, and future of monopolization remedies. *Antitrust Law Journal*, 76, 11–29.
- Wilke, M. (2011). Feed-in Tariffs for Renewable Energy and WTO Subsidy Rules: An Initial Legal Review (Issue Paper No. 4). *ICTSD Programme on Trade and Environment*. Geneva: International Centre for Trade and Sustainable Development.
- WIPO (World Intellectual Property Organization) (2015). *World Intellectual Property Report 2015: Breakthrough Innovation and Economic Growth*. Geneva: World Intellectual Property Organization. Available at: <https://www.wipo.int/publications/en/details.jsp?id=3995>.
- WIPO (2017). *World Intellectual Property Report 2017: Intangible Capital in Global Value Chains*. Geneva: World Intellectual Property Organization. Available at: <https://www.wipo.int/publications/en/details.jsp?id=4225>.
- WIPO (2019a). *World Intellectual Property Report 2019: The Geography of Innovation: Global Hotspots, Local Networks, World Intellectual Property Report*. Geneva: World Intellectual Property Organization. Available at: <https://www.wipo.int/publications/en/details.jsp?id=4467>.
- WIPO (2019b). *WIPO Technology Trends 2019: Artificial Intelligence, WIPO Technology Trends*. Geneva: World Intellectual Property Organization. Available at: <https://www.wipo.int/publications/en/details.jsp?id=4386>.
- Woolliscroft, J.O. (2020). Innovation in response to the COVID-19 pandemic crisis. *Academic Medicine*, 95(8), 1140–1142. DOI: <https://doi.org/10/ggrzjc>.
- WTO and IRENA (World Trade Organization and International Renewable Energy Agency) (2021). *Trading into a Bright Energy Future: The Case for Open, High-quality Solar Photovoltaic Markets*. Geneva: World Trade Organization. Available at: https://www.wto.org/english/res_e/publications_e/energyfuture2021_e.htm.
- Xue, Q.C. and L.L. Ouellette (forthcoming). Innovation policy and the market for vaccines. *Journal of Law and Biosciences*.
- Yilmazkuday, H. (forthcoming). Changes in consumption in the early COVID-19 era: Zip-code Level evidence from the U.S. *Journal of Risk and Financial Management*. DOI: <https://doi.org/10.2139/ssrn.3658518>.

Datos sobre patentes

Los datos sobre patentes utilizados en este informe proceden de la Base Mundial de Datos sobre Estadísticas de Patentes (PATSTAT, octubre de 2021) de la Oficina Europea de Patentes (OEP) y las colecciones del Tratado de Cooperación en materia de Patentes (PCT) de la OMPI.

La principal unidad de análisis es la primera solicitud presentada, de un conjunto de solicitudes de patente presentadas en uno o varios países y en las que se reivindica la misma invención. Cada conjunto que contenga una solicitud presentada y pueda contener varias solicitudes posteriores se define como familia de patentes.

Estrategias de cartografía

La estrategia de cartografía de las patentes de cada uno de los estudios de casos –sobre las tecnologías digitales de uso general y de baja emisión de carbono– se basa en estudios previos y en las sugerencias de especialistas. Siempre que fue posible, las estrategias se basaron en ejercicios equivalentes de cartografía de patentes, que se utilizaron como referencia para la comparación de la estrategia. A continuación se presenta un resumen de esos ejercicios. Para obtener más información, véase Noailly (2022), y Trajtenberg, Hamdan-Livramento y Daly (2022).

Las estrategias de cartografía estuvieron basadas en una combinación de clasificaciones de patentes –la Clasificación Internacional de Patentes (CIP) y la Clasificación Cooperativa de Patentes (CPC)– y en las palabras clave aplicadas a los datos de PATSTAT.

Tecnologías digitales de uso general

La cartografía de las tecnologías digitales de uso general se basó en las siguientes estrategias para subcategorías.

Inteligencia artificial (IA) y aprendizaje automático

Símbolos de la CIP/CPC: A61B 5/7264; A61B 5/7267; A63F 13/67; B23K 31/006; B25J 9/161; B29C2945/76979; B29C 66/965; B29C 66/966; B60G2600/1876; B60G2600/1878; B60G2600/1879; B60T2210/122; B60T 8/174; B62D 15/0285; B65H2557/38; F02D 41/1405; F03D 7/046; F05B2270/707; F05B2270/709; F16H2061/0081; F16H2061/0084; G01N2201/1296; G01N 29/4481; G01N 33/0034; G01R 31/2846; G01R 31/2848; G01S 7/417; G05B 13/027; G05B 13/0275; G05B 13/028; G05B 13/0285; G05B 13/029; G05B 13/0295; G05B2219/21002; G05B2219/25255; G05B2219/32193; G05B2219/32335; G05B2219/33002; G05B2219/33013; G05B2219/33014; G05B2219/33021; G05B2219/33024; G05B2219/33025; G05B2219/33027; G05B2219/33029; G05B2219/33033; G05B2219/33035; G05B2219/33039; G05B2219/33041; G05B2219/33044; G05B2219/34066; G05B2219/39284; G05B2219/39286; G05B2219/39292; G05B2219/39385; G05B 23/024%; G05B 23/0251; G05B 23/0254; G05B 23/0281; G05D 1/0088; G06F 11/1476; G06F 11/2257; G06F 11/2263; G06F 16/243; G06F 16/3329; G06F 16/583; G06F 16/5838; G06F 16/5846; G06F 16/5854; G06F 16/5862; G06F 16/683; G06F 16/685; G06F 16/783%; G06F 16/7834; G06F 16/784%; G06F 16/785%; G06F 16/786; G06F 16/7864; G06F2207/4824; G06K 7/1482; G06K 9/6269; G06K 9/6277; G06K 9/6278; G06K 9/6285; G06N 20%; G06N 3/004; G06N 3/006; G06N 3/008; G06N 3/02; G06N 3/04%; G06N 3/06%; G06N 3/08%; G06N 3/10%; G06T2207/20081; G06T2207/20084; G06T 3/4046; G06T 9/002; G08B 29/186; G10H2250/151; G10H2250/311; G10K2210/3024; G10K2210/3038; G10L 15/16; G10L 15/18%; G10L 15/1%; G10L 17/18; G10L 25/30; G10L 25/33; G11B 20/10518; G16B 40/20; G16B 40/30; G16C 20/70; H01J2237/30427; H01M 8/04992; H02H 1/0092; H02P 21/0014; H02P 23/0018; H03H2017/0208;

H03H2222/04; H04L2012/5686; H04L2025/03464; H04L2025/03554; H04L 25/0254; H04L 25/03165; H04L 41/16; H04L 45/08; H04N 21/466%; H04Q2213/054; H 04Q2213/13343; H04Q2213/343; H04R 25/507; Y10S 128/924; Y10S 128/925; or, Y10S 706%.

Símbolos de la CIP/CPC y palabras clave: (G01R 31/367; G06F%; G06F 16/245%; G06F 16/3334; G06F 16/3335; G06F 16/3337; G06F 16/35%; G06F 16/36%; G06F 16/374; G06F 16/435; G06F 16/436; G06F 16/437; G06F 17/16; G06F 17/2%; G06F 19%; G06K 9%; G06K 9/00973; G06K 9/46%; G06K 9/60%; G06N%; G06T%; G10L 15%; G10L 17%; G10L 21%; G10L 25%; G16B 40%; or; G16H 50%); and, (neural network; *super- vis*.?learn*; *supervised*.?train*; adaboost; adaptive learning; adaptive.?boost*; adversar* network*; ANN; artific* intellig*; auto.?encod*; autonom* comput*; auto- no- mous learning; back.?propagation*; bayes*.?- network*; Bayesian learning; Bayesian model; blind signal separa- tion; boosting algorithm; bootstrap aggregat*; brown- boost; chat.?bot*; classification algorithm; classification tree; cluster analysis; CNN; cognitiv* comput*; cognitive automation; cognitive modelling; collaborat* filter*; colli- sion avoidance; computation* intellig*; computer vision; conceptual clustering; connectionis[mt]; convnet[s]?; convolu- tional network; decision model*; decision tree*; deep forest; deep.?belief net*; deep.?learning*; dictionary learning; differential*.?evol* algorithm*; dimension- al*.?reduc*; emotion recognition; ensemble learn*; evolution* algorithm*; evolution* comput*; expert system*; extreme.?learning.?machine; factori[sz]ation machin*; feature learning; fuzzy environment*; fuzzy logic; fuzzy set; fuzzy system; fuzzy.?c; fuzzy.?logic*; gaussian mixture model; gaussian process*; genera- tive adversarial net*; genetic program*; genetic* algo- rithm*; gradient boosting; gradient model boosting; gradient tree boos*; Hebbian learning; hidden markov model; hierarchical cluster*; high.?dimensional* data; high.?dimensional* feature*; high.?dimensional* input*; high.?dimensional* model*; high.?dimensional*; space*; high.?dimensional* system*; hyperplane; indepen- dent component analysis; inductive* logic* program*; infe- rence *learn*; inference *train*; Instance.?based lear- ning; intelligent agent; intelligent classifier; intel- ligent geometric computing; intelligent infrastruc- ture; inte- lligent machines; intelligent software agent; K-means; K-nearest neighbo[u]?r; latent dirichlet allocation*; latent semantic analys*; latent.?variable*; layered control system; learning{1,3}algorithm*; learning.?automata*; learning*.model*; linear regres- sion; link* predict*; logi* regression; logic learning machine; logitboost; long.?short.?term memory; LPboost; LSTM; machi- ne intelligen*; machine.?learn*; madaboost; Markov* decision process; memetic algo- rithm*; meta learning; multi agent system*; multi task learning; multi.?agent system*; multi.?layer perceptron*; multi* label* classif*; multi*.?objective* algorithm*; multi*.?objective* optim*; multinomial nave Bayes; natural language understand- ing; natural.?language* generat*; natural.?language*

process*; nearest neighbour algorithm; neural.?turing; predictive mode; probabilist{1,2}algorithm*; proba- bilistic graphical model; random.?forest*; random* gradient*; rank- boost; regression tree; reinforc* learn*; relational learning; rule.?based learning; self organising map; self.?learning*; self.?organising map; self.?or- ganising structure; similarity learning; simultaneous localisation mapping; single.?linkage clustering; sparse represent*; stacked.?generaliz?ation; statistical relational learning; stochastic gradient descent; support.?vector machine*; support.?vector regress*; SVM; temporal difference learning; totalboost; training algorithm; trans- fer.?learn*; trust region policy optimization; variational inference; or, xgboost).

Sistemas autónomos

Símbolos de la CIP/CPC: A61B 34/32; A63B2047/022; A63H 27/00; B25J 9/0003; B60C 25/185; B60K2370/175; B60L 2260/32; B60T2201/02%; B60W2030%; B 6 0 W 2040%; B 6 0 W 2050%; B 6 0 W 240 0%; B 6 0 W 2420 %; B 6 0 W 2422%; B 6 0 W 2510 %; B60 W 2520%; B60 W 2530%; B60 W 2540%; B 6 0 W 2552%; B 6 0 W 2554%; B 6 0 W 2555%; B60W2556%; B60W2710/00; B60W2720/00; B60W275%; B60W2900/00; B60W 30%; B60W 40%; B60W 50%; B60W60%; B61L 27%; B61L 27/04; B62D 15%; B62D 15/0255; B62D 15/026; B62D 15/0265; B62D 6%; B63B2035/007; B63G2008/002; B63G2008/004; B64C2201%; B64G 1/24%; B64G2001/247; E02F 3%; E02F 3/3645; E02F 3/434; E02F 3/437; E02F 3/439; E02F 5%; E02F 9%; E02F 9/2041; E21B 44%; G01C 21%; G01C 22%; G05D 1%; G05D 1/0061; G05D 1/0088; G05D 13%; G05D2201/0207; G05D2201/0212; G05D 3%; G06K 9/00624; G06K 9/0079%; G06K 9/0080%; G06K 9/0081%; G06K 9/0082%; or, G08G%.

Símbolos de la CIP/CPC y palabras clave: (A63H 27/00; B62D 15%; B64G 1/24%; E02F 3%; E02F 5%; E02F 9%; G01C 21%; G01C 22%; G05D 1%; G05D 13%; G05D 3%; G06K 9/00624; G06K 9/0079%; G06K 9/0080%; G06K 9/0081%; G06K 9/0082%; or, G08G%); and, (self adapted cruise; self control; self guided; self guiding; self steering; UAV; or, unmanned aerial vehicle).

Inteligencia de datos

Símbolos de la CIP/CPC: B60W2556/05; G06F%; G06F 16%; G06F 16/2465; G06F 16/283; G06F 17/3%; G06F2216/03; G06F 3%; G06F 30%; G06F 9/5072; G06Q%; or, G16B 50%.

Símbolos de la CIP/CPC y palabras clave: (G06F%; G06F 16%; G06F 3%; G06F 30%; G06Q%; or, G16B 50%); and, (Accumulo; Aster; big dat*; Cassandra; crowd sourc*; data fusion; data mine*; data warehous*; data mining*; Datameer; DataStax; distributed databa- se; distributed process*; distributed quer*; distributed

server; elasticsearch; enormous data*; FICO Blaze; Hadoop; HANA; hp veritca; huge data*; informatic*; kafka; large data*; MapReduce; Marklogic; massive data*; massively parallel database; massively parallel process*; massive- ly parallel software; nosql; open dat*; Platfora; Splunk; Vertica; or, Yarn).

Computación en la nube

Palabras clave: *as-a-service; Aneka; cloud app*; cloud architectur*; cloud based; cloud based computing; cloud comput*; cloud data*; cloud infrastructure; cloud networking; cloud process*; cloud securit*; cloud serv*; cloud software; cloud solution*; cloud storage; cloud system*; cloud technolog*; cluster comput*; concurrent comput*; data portability; distributed comput*; grid comput*; hybrid cloud[s]?; Hyper-V; hypervisor*; InterCloud; multi.?core; multitenan*; parallel comput*; parallel process*; parallel software; private cloud; public cloud; service[.]?orient*; utility comput*; utility orient*; virtualization; VMware; or, web service*.

Símbolos de la CIP/CPC y palabras clave: (G06F%) and (*as-a-service; Aneka; cloud app*; cloud architectur*; cloud based; cloud based computing; cloud comput*; cloud data*; cloud infrastructure; cloud networking; cloud process*; cloud securit*; cloud serv*; cloud software; cloud solu- tion*; cloud storage; cloud system*; cloud technolog*; cluster comput*; concurrent comput*; data portability; distributed comput*; grid comput*; hybrid cloud[s]?; Hyper-V; hypervisor*; InterCloud; multi.?core; mult- itenan*; parallel comput*; parallel process*; parallel software; private cloud; public cloud; service[.]?orient*; utility comput*; utility orient*; virtualization; VMware; or, web service*).

Internet de las cosas (IdC):

Símbolos de la CIP/CPC: G16Y%; H04L 29/06%; H04L 29/08%; H04W 4/70; H04W 72/04%; H04W 72/06%; H04W 72/08%; H04W 72/10; H04W 84/18; H04W 84/20; or, H04W 84/22.

Símbolos de la CIP/CPC y palabras clave: (H04B 7/26%; H04L 12/28%; or, H04W4%); and, (ambient intelligence; connected* device*; device* network*; digital life; IloT; industrial internet; internet of everything*; internet of thing*; IoT; M2M; machine-to-machine; network* device*; perva- sive comput*; smart device*; smart dust; smart grid*; smart home*; smart meter*; smart sensor*; smarter planet; ubicomp; ubiquitous computing; virtual plant*; or, web of thing*).

Robótica

Símbolos de la CIP/CPC: A47L2201/00; A61B2034/30%; A61B 34/30; A61B 34/30; A61B 34/37; A61F2002/4632;

A61F2002/704; A61H2201/1659; A61N 5/1083; A63H 11%; B01J2219/00691; B07C2501/0063; B25J 19/0029; B25J 19/0033; B25J 19/0037; B25J 19/0041; B25J 9/065; B29C2945/76317; B29C 66/863; B32B2038/1891; B60C 25/0587; B64G2004/005; B65F2230/14; B65H2555/31; B67D2007/0403; B67D2007/0405; B67D2007/0407; B67D2007/0409; B67D2007/041%; B67D2007/042%; B67D2007/043%; F16H2061/0071; G01S 13/881; G05B2219/39; G05B2219/40%; G05B2219/43119; G05B2219/45058; G05B2219/45059; G05B2219/45061; G05B2219/45062; G05B2219/45064; G05B2219/45065; G05B2219/45066; G05B2219/45068; G05B2219/45073; G05B2219/45074; G05B2219/45079; G05B2219/45081; G05B2219/45082; G05B2219/45083; G05B2219/45084; G05B2219/45085; G05B2219/45086; G05B2219/45087; G05B2219/45088; G05B2219/45089; G05B2219/45091; G05B2219/45092; G05D2201/0217; H01H2231/04; H04Q 1/147; Y10S 320/34; Y10S 700/90; or, Y10S 901%.

Símbolos de la CIP/CPC y palabras clave: (A63F 13/803; B23K 11/314; B23K 26/0884; B29C 70/38; B62D 57%; or, H01L 21%); and, (cobot; mechatronic*; robot; or, robotics).

Tecnologías de baja emisión de carbono

La cartografía de las tecnologías de baja emisión de carbono se basó en las siguientes estrategias para subcategorías.

Gestión ambiental

Símbolos de la CIP/CPC: A23K 1/06; A23K 1/07; A23K 1/08; A23K 1/09; A23K 1/10; A43B 1/12; A43B 21/14; A61L 11; B01D 46; B01D 47; B01D 49; B01D 50; B01D 51; B01D 53/34; B01D 53/35; B01D 53/36; B01D 53/37; B01D 53/38; B01D 53/39; B01D 53/40; B01D 53/41; B01D 53/42; B01D 53/43; B01D 53/44; B01D 53/45; B01D 53/46; B01D 53/47; B01D 53/48; B01D 53/49; B01D 53/50; B01D 53/51; B01D 53/52; B01D 53/53; B01D 53/54; B01D 53/55; B01D 53/56; B01D 53/57; B01D 53/58; B01D 53/59; B01D 53/60; B01D 53/61; B01D 53/62; B01D 53/63; B01D 53/64; B01D 53/65; B01D 53/66; B01D 53/67; B01D 53/68; B01D 53/69; B01D 53/70; B01D 53/71; B01D 53/72; B01D 53/92; B01D 53/94; B01D 53/96; B01J 23/38; B01J 23/39; B01J 23/40; B01J 23/41; B01J 23/42; B01J 23/43; B01J 23/44; B01J 23/45; B01J 23/46; B03B 9/06; B03C 3; B09B; B09C; B22F 8; B29B 7/66; B29B 17; B30B 9/32; B62D 67; B63B 35/32; B63J 4; B65D 65/46; B65F; B65H 73; C02F; C03B 1/02; C03C 6/02; C03C 6/08; C04B 7/24; C04B 7/25; C04B 7/26; C04B 7/27; C04B 7/28; C04B 7/29; C04B 7/30; C04B 11/26; C04B 18/04; C04B 18/05; C04B 18/06; C04B 18/07; C04B 18/08; C04B 18/09; C04B 18/10; C04B 33/13*; C05F 1; C05F 5; C05F 7; C05F 9; C05F 17; C08J 11; C09K 3/32; C09K 11/01; C10G 1/10; C10L 5/46; C10L 5/47; C10L 5/48; C10L 10/02; C10L 10/06; C10M 175; C21B

7/22; C21C 5/38; C22B 7/; C22B 19/28; C22B 19/29; C22B 19/30; C22B 25/06; D01G 11/; D21B 1/08; D21B 1/09; D21B 1/10; D21B 1/32; D21C 5/02; D21H 17/01; E01H 15/; E02B 15/04; E02B 15/05; E02B 15/06; E02B 15/07; E02B 15/08; E02B 15/09; E02B 15/10; E03C 1/12; E03F; F01M 13/02; F01M 13/03; F01M 13/04; F01N 3/; F01N 5/; F01N 7/; F01N 9/; F01N 11/; F01N 13/; F02B 47/06; F02B 47/08; F02B 47/09; F02B 47/10; F02D 21/06; F02D 21/07; F02D 21/08; F02D 21/09; F02D 21/10; F02D 41/; F02D 43/; F02D 45/; F02M 3/02; F02M 3/03; F02M 3/04; F02M 3/05; F02M 23/; F02M 25/; F02M 25/07; F02M 27/; F02M 31/02; F02M 31/03; F02M 31/04; F02M 31/05; F02M 31/06; F02M 31/07; F02M 31/08; F02M 31/09; F02M 31/10; F02M 31/11; F02M 31/12; F02M 31/13; F02M 31/14; F02M 31/15; F02M 31/16; F02M 31/17; F02M 31/18; F02P 5/; F23B 80/; F23C 9/; F23C 10/; F23G 5/; F23G 7/; F23G 7/06; F23J 15/; F27B 1/18; G01M 15/10; G08B 21/12; G08B 21/13; G08B 21/14; H01B 15/00; H01J 9/52; H01M 6/52; or, H01M 10/54.

Tecnologías hídras de adaptación al cambio

Símbolos de la CIP/CPC: A01G 25/02; A01G 25/06; A01G 25/16; A47K 11/02; A47K 11/12; C12N 15/82*; E03B 1/04; E03B 3/00; E03B 3/02; E03B 3/03; E03B 3/06; E03B 3/07; E03B 3/08; E03B 3/09; E03B 3/10; E03B 3/11; E03B 3/12; E03B 3/13; E03B 3/14; E03B 3/15; E03B 3/16; E03B 3/17; E03B 3/18; E03B 3/19; E03B 3/20; E03B 3/21; E03B 3/22; E03B 3/23; E03B 3/24; E03B 3/25; E03B 3/26; E03B 3/40; E03B 5/; E03B 9/; E03B 11/; E03C 1/08; E03D 1/14; E03D 3/12; E03D 5/01; E03D 13/00; F01D 11/; F01K 23/08; F01K 23/09; F01K 23/10; F16K 21/06; F16K 21/07; F16K 21/08; F16K 21/09; F16K 21/10; F16K 21/11; F16K 21/12; F16K 21/16; F16K 21/17; F16K 21/18; F16K 21/19; F16K 21/20; F16L 55/07; Y02B 40/46; or, Y02B 40/56.

Tecnologías de mitigación del cambio climático relacionadas con la generación, transmisión y distribución de energía

Símbolos de la CIP/CPC: Y02E; Y02E 10/; Y02E 10/10; Y02E 10/11; Y02E 10/12; Y02E 10/13; Y02E 10/14; Y02E 10/15; Y02E 10/16; Y02E 10/17; Y02E 10/18; Y02E 10/20; Y02E 10/21; Y02E 10/22; Y02E 10/23; Y02E 10/24; Y02E 10/25; Y02E 10/26; Y02E 10/27; Y02E 10/28; Y02E 10/30; Y02E 10/31; Y02E 10/32; Y02E 10/33; Y02E 10/34; Y02E 10/35; Y02E 10/36; Y02E 10/37; Y02E 10/38; Y02E 10/40; Y02E 10/41; Y02E 10/42; Y02E 10/43; Y02E 10/44; Y02E 10/45; Y02E 10/46; Y02E 10/47; Y02E 10/50; Y02E 10/51; Y02E 10/52; Y02E 10/53; Y02E 10/54; Y02E 10/55; Y02E 10/56; Y02E 10/57; Y02E 10/58; Y02E 10/60; Y02E 10/70; Y02E 10/71; Y02E 10/72; Y02E 10/73; Y02E 10/74; Y02E 10/75; Y02E 10/76; Y02E 20/; Y02E 20/10; Y02E 20/11; Y02E 20/12; Y02E 20/13; Y02E 20/14; Y02E 20/15; Y02E 20/16; Y02E 20/17; Y02E 20/18; Y02E 20/18*; Y02E 20/30; Y02E

20/31; Y02E 20/32; Y02E 20/33; Y02E 20/34; Y02E 20/35; Y02E 20/36; Y02E 30/; Y02E 30/10; Y02E 30/11; Y02E 30/12; Y02E 30/13; Y02E 30/14; Y02E 30/15; Y02E 30/16; Y02E 30/17; Y02E 30/18; Y02E 30/30; Y02E 30/31; Y02E 30/32; Y02E 30/33; Y02E 30/34; Y02E 30/35; Y02E 30/36; Y02E 30/37; Y02E 30/38; Y02E 30/39; Y02E 30/40; Y02E 40/; Y02E 40/10; Y02E 40/11; Y02E 40/12; Y02E 40/13; Y02E 40/14; Y02E 40/15; Y02E 40/16; Y02E 40/17; Y02E 40/18; Y02E 40/20; Y02E 40/21; Y02E 40/22; Y02E 40/23; Y02E 40/24; Y02E 40/25; Y02E 40/26; Y02E 40/30; Y02E 40/31; Y02E 40/32; Y02E 40/33; Y02E 40/34; Y02E 40/40; Y02E 40/50; Y02E 40/60; Y02E 40/61; Y02E 40/62; Y02E 40/63; Y02E 40/64; Y02E 40/65; Y02E 40/66; Y02E 40/67; Y02E 40/68; Y02E 40/69; Y02E 40/70; Y02E 50/; Y02E 50/10; Y02E 50/11; Y02E 50/12; Y02E 50/13; Y02E 50/14; Y02E 50/15; Y02E 50/16; Y02E 50/17; Y02E 50/18; Y02E 50/30; Y02E 50/31; Y02E 50/32; Y02E 50/33; Y02E 50/34; Y02E 60/; Y02E 60/10; Y02E 60/11; Y02E 60/12; Y02E 60/13; Y02E 60/14; Y02E 60/15; Y02E 60/16; Y02E 60/17; Y02E 60/30; Y02E 60/31; Y02E 60/32; Y02E 60/33; Y02E 60/34; Y02E 60/35; Y02E 60/36; Y02E 60/50; Y02E 60/51; Y02E 60/52; Y02E 60/53; Y02E 60/54; Y02E 60/55; Y02E 60/56; Y02E 60/70; Y02E 60/71; Y02E 60/72; Y02E 60/73; Y02E 60/74; Y02E 60/75; Y02E 60/76; Y02E 60/77; Y02E 60/78; or, Y02E 70/.

Captura, almacenamiento, retención o eliminación de gases de efecto invernadero

Símbolos de la CIP/CPC: Y02C; Y02C 10/; Y02C 10/00; Y02C 10/01; Y02C 10/02; Y02C 10/03; Y02C 10/04; Y02C 10/05; Y02C 10/06; Y02C 10/07; Y02C 10/08; Y02C 10/09; Y02C 10/10; Y02C 10/11; Y02C 10/12; Y02C 10/13; Y02C 10/14; Y02C 20/; Y02C 20/00; Y02C 20/01; Y02C 20/02; Y02C 20/03; Y02C 20/04; Y02C 20/05; Y02C 20/06; Y02C 20/07; Y02C 20/08; Y02C 20/09; Y02C 20/10; Y02C 20/11; Y02C 20/12; Y02C 20/13; Y02C 20/14; Y02C 20/15; Y02C 20/16; Y02C 20/17; Y02C 20/18; Y02C 20/19; Y02C 20/20; Y02C 20/21; Y02C 20/22; Y02C 20/23; Y02C 20/24; Y02C 20/25; Y02C 20/26; Y02C 20/27; Y02C 20/28; Y02C 20/29; or, Y02C 20/30.

Tecnologías de mitigación del cambio climático relacionadas con el transporte

Símbolos de la CIP/CPC: Y02T; Y02T 10/; Y02T 10/10; Y02T 10/11; Y02T 10/12; Y02T 10/13; Y02T 10/14; Y02T 10/15; Y02T 10/16; Y02T 10/17; Y02T 10/18; Y02T 10/19; Y02T 10/20; Y02T 10/21; Y02T 10/22; Y02T 10/23; Y02T 10/24; Y02T 10/25; Y02T 10/26; Y02T 10/27; Y02T 10/28; Y02T 10/29; Y02T 10/30; Y02T 10/31; Y02T 10/32; Y02T 10/33; Y02T 10/34; Y02T 10/35; Y02T 10/36; Y02T 10/37; Y02T 10/38; Y02T 10/39; Y02T 10/40; Y02T 10/41; Y02T 10/42; Y02T 10/43; Y02T 10/44; Y02T 10/45; Y02T 10/46; Y02T 10/47; Y02T 10/48; Y02T 10/49; Y02T 10/50; Y02T

Y02B 30/52; Y02B 30/53; Y02B 30/54; Y02B 30/55; Y02B 30/56; Y02B 30/57; Y02B 30/58; Y02B 30/59; Y02B 30/60; Y02B 30/61; Y02B 30/62; Y02B 30/63; Y02B 30/64; Y02B 30/65; Y02B 30/66; Y02B 30/67; Y02B 30/68; Y02B 30/69; Y02B 30/70; Y02B 30/71; Y02B 30/72; Y02B 30/73; Y02B 30/74; Y02B 30/75; Y02B 30/76; Y02B 30/77; Y02B 30/78; Y02B 30/79; Y02B 30/80; Y02B 30/81; Y02B 30/82; Y02B 30/83; Y02B 30/84; Y02B 30/85; Y02B 30/86; Y02B 30/87; Y02B 30/88; Y02B 30/89; Y02B 30/90; Y02B 30/91; Y02B 30/92; Y02B 30/93; Y02B 30/94; Y02B 40/; Y02B 40/00; Y02B 40/01; Y02B 40/02; Y02B 40/03; Y02B 40/04; Y02B 40/05; Y02B 40/06; Y02B 40/07; Y02B 40/08; Y02B 40/09; Y02B 40/10; Y02B 40/11; Y02B 40/12; Y02B 40/13; Y02B 40/14; Y02B 40/15; Y02B 40/16; Y02B 40/17; Y02B 40/18; Y02B 40/19; Y02B 40/20; Y02B 40/21; Y02B 40/22; Y02B 40/23; Y02B 40/24; Y02B 40/25; Y02B 40/26; Y02B 40/27; Y02B 40/28; Y02B 40/29; Y02B 40/30; Y02B 40/31; Y02B 40/32; Y02B 40/33; Y02B 40/34; Y02B 40/35; Y02B 40/36; Y02B 40/37; Y02B 40/38; Y02B 40/39; Y02B 40/40; Y02B 40/41; Y02B 40/42; Y02B 40/43; Y02B 40/44; Y02B 40/45; Y02B 40/47; Y02B 40/48; Y02B 40/49; Y02B 40/50; Y02B 40/51; Y02B 40/52; Y02B 40/53; Y02B 40/54; Y02B 40/55; Y02B 40/57; Y02B 40/58; Y02B 40/59; Y02B 40/60; Y02B 40/61; Y02B 40/62; Y02B 40/63; Y02B 40/64; Y02B 40/65; Y02B 40/66; Y02B 40/67; Y02B 40/68; Y02B 40/69; Y02B 40/70; Y02B 40/71; Y02B 40/72; Y02B 40/73; Y02B 40/74; Y02B 40/75; Y02B 40/76; Y02B 40/77; Y02B 40/78; Y02B 40/79; Y02B 40/80; Y02B 40/81; Y02B 40/82; Y02B 40/83; Y02B 40/84; Y02B 40/85; Y02B 40/86; Y02B 40/87; Y02B 40/88; Y02B 40/89; Y02B 40/90; Y02B 50/; Y02B 50/00; Y02B 50/01; Y02B 50/02; Y02B 50/03; Y02B 50/04; Y02B 50/05; Y02B 50/06; Y02B 50/07; Y02B 50/08; Y02B 50/09; Y02B 50/10; Y02B 50/11; Y02B 50/12; Y02B 50/13; Y02B 50/14; Y02B 50/15; Y02B 50/16; Y02B 50/17; Y02B 50/18; Y02B 50/19; Y02B 50/20; Y02B 50/21; Y02B 50/22; Y02B 50/23; Y02B 50/24; Y02B 60/; Y02B 60/00; Y02B 60/01; Y02B 60/02; Y02B 60/03; Y02B 60/04; Y02B 60/05; Y02B 60/06; Y02B 60/07; Y02B 60/08; Y02B 60/09; Y02B 60/10; Y02B 60/11; Y02B 60/12; Y02B 60/13; Y02B 60/14; Y02B 60/15; Y02B 60/16; Y02B 60/17; Y02B 60/18; Y02B 60/19; Y02B 60/20; Y02B 60/21; Y02B 60/22; Y02B 60/23; Y02B 60/24; Y02B 60/25; Y02B 60/26; Y02B 60/27; Y02B 60/28; Y02B 60/29; Y02B 60/30; Y02B 60/31; Y02B 60/32; Y02B 60/33; Y02B 60/34; Y02B 60/35; Y02B 60/36; Y02B 60/37; Y02B 60/38; Y02B 60/39; Y02B 60/40; Y02B 60/41; Y02B 60/42; Y02B 60/43; Y02B 60/44; Y02B 60/45; Y02B 60/46; Y02B 60/47; Y02B 60/48; Y02B 60/49; Y02B 60/50; Y02B 70/; Y02B 70/00; Y02B 70/01; Y02B 70/02; Y02B 70/03; Y02B 70/04; Y02B 70/05; Y02B 70/06; Y02B 70/07; Y02B 70/08; Y02B 70/09; Y02B 70/10; Y02B 70/11; Y02B 70/12; Y02B 70/13; Y02B 70/14; Y02B 70/15; Y02B 70/16; Y02B 70/17; Y02B 70/18; Y02B 70/19; Y02B 70/20; Y02B 70/21; Y02B 70/22; Y02B 70/23; Y02B 70/24; Y02B 70/25; Y02B 70/26; Y02B 70/27; Y02B 70/28; Y02B 70/29;

Y02B 70/30; Y02B 70/31; Y02B 70/32; Y02B 70/33; Y02B 70/34; Y02B 80/; Y02B 80/00; Y02B 80/01; Y02B 80/02; Y02B 80/03; Y02B 80/04; Y02B 80/05; Y02B 80/06; Y02B 80/07; Y02B 80/08; Y02B 80/09; Y02B 80/10; Y02B 80/11; Y02B 80/12; Y02B 80/13; Y02B 80/14; Y02B 80/15; Y02B 80/16; Y02B 80/17; Y02B 80/18; Y02B 80/19; Y02B 80/20; Y02B 80/21; Y02B 80/22; Y02B 80/23; Y02B 80/24; Y02B 80/25; Y02B 80/26; Y02B 80/27; Y02B 80/28; Y02B 80/29; Y02B 80/30; Y02B 80/31; Y02B 80/32; Y02B 80/33; Y02B 80/34; Y02B 80/35; Y02B 80/36; Y02B 80/37; Y02B 80/38; Y02B 80/39; Y02B 80/40; Y02B 80/41; Y02B 80/42; Y02B 80/43; Y02B 80/44; Y02B 80/45; Y02B 80/46; Y02B 80/47; Y02B 80/48; Y02B 80/49; Y02B 80/50; Y02B 90/; Y02B 90/00; Y02B 90/01; Y02B 90/02; Y02B 90/03; Y02B 90/04; Y02B 90/05; Y02B 90/06; Y02B 90/07; Y02B 90/08; Y02B 90/09; Y02B 90/10; Y02B 90/11; Y02B 90/12; Y02B 90/13; Y02B 90/14; Y02B 90/15; Y02B 90/16; Y02B 90/17; Y02B 90/18; Y02B 90/19; Y02B 90/20; Y02B 90/21; Y02B 90/22; Y02B 90/23; Y02B 90/24; Y02B 90/25; or, Y02B 90/26.

Industria del automóvil

Patentes ecológicas

B60L 11; B60L 3; B60L 15; B60K 1; B60W 10/08; B60W 10/24; B60W 10/26; B60K 6; B60W 20; B60L 7/01; B60L 7/20; B60W 10/28; B60L 11/18; H01M 8

Patentes grises

F02M 3/02-05; F02M 23; F02M 25; F02D 41; F02B 47/06; F02M 39-71

Patentes contaminantes

F02B; F02M; F02D; F02F; F02N; F02P.

Siglas

AGC	computadora de navegación del Apolo	NIH	Institutos Nacionales de la Salud
AIE	Agencia Internacional de Energía	NRC	Consejo Nacional de Investigación
ARNm	ácido ribonucleico mensajero	NRRL	Laboratorio de Investigación Regional del Norte
ASG	ambiental, social y de gobernanza	NSF	Fundación Nacional de las Ciencias
CalTech	Instituto Tecnológico de California	OACI	Organización de Aviación Civil Internacional
CCD	sensores dispositivos de acoplamiento de carga	OBM	fabricante de marca original
CEPI	Coalición para la Promoción de Innovaciones en pro de la Preparación ante Epidemias	OCDE	Organización de Cooperación y Desarrollo Económicos
CFRP	fibra de carbono y plásticos reforzados con fibra de carbono	ODM	fabricante de diseño original
CMNUCC	Convención Marco de las Naciones Unidas sobre el Cambio Climático	OEM	fabricante de equipo original
CMR	Comité de Investigación Médica	ONG	organización no gubernamental
CO2	dióxido de carbono	ORSD	Oficina de Investigación y Desarrollo Científico
COVID-19	enfermedad por coronavirus	OWS	operación Warp Speed (denominada Countermeasures Acceleration Group a partir de 2021)
DARPA	Agencia de Proyectos de Investigación Avanzada para la Defensa de los Estados Unidos de América	PI	propiedad intelectual
DoD	Departamento de Defensa de los Estados Unidos de América	PIB	producto interior bruto
DoE	Departamento de Energía	PNT	datos de posicionamiento, navegación y temporización
DPI	derechos de propiedad intelectual	RPS	sistemas de energía radioisotópica
DRAM	memoria dinámica de acceso aleatorio	SARS-CoV-2	coronavirus del síndrome respiratorio agudo grave 2
EE. UU.	Estados Unidos de América	SMS	servicio de mensajes cortos
ESA	Agencia Espacial Europea	TI	tecnologías de la información
FDA	Administración de Alimentos y Medicamentos de los Estados Unidos de América	TIC	tecnologías de la información y las comunicaciones
FRAND	condiciones justas, razonables y no discriminatorias	UE	Unión Europea
IA	inteligencia artificial	USPTO	Oficina de Patentes y Marcas de los Estados Unidos de América
I+D	investigación y desarrollo	VTF	Grupo de Trabajo para las Vacunas
IdC	Internet de las cosas	WPB	Junta de Producción Bélica
IRENA	Agencia Internacional de Energías Renovables		
JPL	Laboratorio de Propulsión a Chorro		
MIT	Instituto Tecnológico de Massachusetts		
NASA	Administración Nacional de Aeronáutica y el Espacio		



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

Tel: + 41 22 338 91 11
Fax: + 41 22 733 54 28

Para los datos de contacto de las oficinas
de la OMPI en el exterior, visite:
www.wipo.int/about-wipo/es/offices

Publicación de la OMPI N.º 944S/22
ISBN: 978-92-805-3387-3 (impresa)
ISBN: 978-92-805-3388-0 (en línea)
ISSN: 2790-9883 (impresa)
ISSN: 2790-9891 (en línea)