



10 TECNOLOGÍAS E M E R G E N T E S PARA IMPULSAR A ESPAÑA

INFORME
2020



FUNDACIÓN
RAFAEL
DEL PINO



CÁTEDRA
CIENCIA Y SOCIEDAD

Javier García Martínez

CÁTEDRA CIENCIA Y SOCIEDAD
FUNDACIÓN RAFAEL DEL PINO

Rafael Calvo, 39
28010 Madrid

Tel.: (+34) 91 396 86 00
Email: info@frdelpino.es
www.frdelpino.es

© 2020 Cátedra Ciencia y Sociedad Fundación Rafael del Pino

Créditos	4
Presentación	6
Introducción	8
Capítulo 1	
Inteligencia artificial	23
Capítulo 2	
Edición genética	31
Capítulo 3	
Seguridad digital	45
Capítulo 4	
Internet de las cosas	53
Capítulo 5	
Materiales fotoactivos avanzados	61
Capítulo 6	
Energía distribuida	69
Capítulo 7	
Datos de satélites para toma de decisiones.....	77
Capítulo 8	
Nuevas tecnologías para combatir el envejecimiento	87
Capítulo 9	
Energías renovables	97
Capítulo 10	
Blockchain	107
Capítulo 10+1	
Lucha contra las epidemias recurrentes	115

CÁTEDRA CIENCIA Y SOCIEDAD FUNDACIÓN RAFAEL DEL PINO

La Cátedra Ciencia y Sociedad de la Fundación Rafael del Pino nace en 2019, liderada por el científico y emprendedor Javier García Martínez. Su función consiste en analizar, debatir y comunicar el impacto de la ciencia y la tecnología en la sociedad, entendida ésta de una forma amplia, abarcando la economía, el empleo, la seguridad, la energía y la calidad de vida en España.

Javier García Martínez

Catedrático Rafael del Pino. Cátedra Ciencia y Sociedad.

COMITÉ CIENTÍFICO DE EXPERTOS

Andrés Pedreño Muñoz

Catedrático de Economía Aplicada, ex rector de la Universidad de Alicante y ex CEO de Universia.

María Blasco Marhuenda

Bióloga. Doctora en Bioquímica y Biología Molecular. Directora del Centro Nacional de Investigaciones Oncológicas (CNIO).

Nuria Oliver Ramírez

Ingeniera en Telecomunicaciones. Doctora por el Media Lab del Instituto Tecnológico de Massachusetts (MIT). Director of Research in Data Science Vodafone. Chief Data Scientist Data-Pop Alliance.

Héctor Perea Saavedra

Ingeniero industrial. Director Strategy and Business Development at CEPSA.

Manuel de León Rodríguez

Matemático y Doctor en Ciencias Exactas. Investigador Científico del CSIC. Ha sido Director de Instituto de Ciencias Matemáticas (ICMAT).

Pablo Artal Soriano

Doctor en Física y Catedrático de Óptica en la Universidad de Murcia.

Javier Ventura-Traveset Bosch

Doctor Ingeniero de Telecomunicaciones. Secretario Ejecutivo del Comité Científico Asesor del programa Galileo de la Agencia Espacial Europea (ESA) y Portavoz en España de ESA.

EQUIPO

Jordi Sánchez Navas

Coordinador.

Julio Miravalls

10 tecnologías emergentes para impulsar a España.

Andrés Valdés

Sección "Con datos en la mano". Capítulos 1, 3, 4, 5, 6, 7, 9, 10 y 10+1.

Cristina Martínez

Sección "Con datos en la mano". Capítulos 2, 8 y 10+1.

Gabriela Bravo

Diseño y maquetación.

Gilberto Ávila

Infografías.

JAVIER GARCÍA MARTÍNEZ

Catedrático Rafael del Pino. Cátedra Ciencia y Sociedad*



Decía el escritor británico, William Pollard que “sin cambio no hay innovación, creatividad, o incentivo para mejorar”. A veces ese cambio es el resultado de un proceso interno que nos mueve a reinventarnos para ser mejores. Pero en muchos casos, cambiamos solo porque no tenemos otro remedio, empujados por una necesidad externa.

¿Quién ha sido el responsable de la digitalización de tu empresa, me preguntaba un amigo hace unos días, el CEO, el CTO o la COVID-19? Con esta pregunta me estaba haciendo ver lo poco que hemos conseguido a pesar de los grandes y costosos planes públicos y privados de digitalización de nuestra economía. Llevamos años hablando de la importancia de implantar las nuevas tecnologías en nuestras empresas, me decía, pero sólo cuando una emergencia sanitaria nos ha obligado a cambiar nuestra forma de trabajar nos hemos dado cuenta de lo mucho que nos quedaba por hacer y de que el futuro es de aquellos que saben ver sus signos y se adaptan a ellos.

Diez tecnologías emergentes para impulsar a España es una hoja de ruta en esa dirección. El informe que tienes en tus manos es el primer resultado de la Cátedra de Ciencia y Sociedad de la Fundación Rafael del Pino. Desde esta nueva iniciativa queremos analizar, reflexionar y generar propuestas para estar mejor preparados ante un futuro cada vez más incierto. Estas 10+1 tecnologías son el resultado del trabajo de un grupo de expertos y profesionales de nuestro país para identificar esos signos con el objetivo de que España no vuelva a perder el tren de la modernidad. Cada una de las tecnologías que se describen en esta guía no se han seleccionado por su interés científico sino por su capacidad de contribuir a la mejora de la competitividad de nuestro tejido productivo y la calidad de vida de nuestros ciudadanos.

Cuando empezamos a trabajar en este informe, las cifras de la economía española eran alentadoras. Cerramos 2019 con un crecimiento del 2% del PIB que alcanzó un

valor de 1,244 billones de euros y con un nuevo récord histórico de exportaciones en 2019. Las exportaciones españolas de mercancías aumentaron el año pasado un 1,8% con respecto al anterior, superando los 290.000 millones de euros. Ahora todo es diferente. El Ejecutivo espera que nuestra economía se contraiga un 9,2% y volvamos a alcanzar cifras de paro cercanas al 20%. Como en crisis anteriores, España vuelve a sufrir más que otros países las consecuencias de problemas que no hemos generado pero que nos afectan más que a otros. Podemos atribuir este impacto excesivo a una respuesta tardía, a una gestión deficiente. Pero hay factores estructurales en nuestro sistema productivo que explican la sobreexposición de nuestra economía, de nuestro empleo y de la calidad de vida de nuestros ciudadanos, a crisis que se repiten con contumaz frecuencia y severidad.

El peso excesivo del sector servicios, la baja cualificación de una parte de nuestros trabajadores, la estacionalidad de nuestra economía y la escasa inversión e implementación de las nuevas tecnologías en nuestras empresas son las causas detrás de que seamos menos competitivos y resilientes que muchos de nuestros vecinos. Estas dos cualidades, competitividad y resiliencia, deben definir nuestro plan de recuperación tras la mayor crisis sanitaria, económica y probablemente social del último siglo. Este informe que tienes en tus manos aporta algunas ideas, varias sugerencias interesantes y sobre todo una visión para España en el nuevo tiempo que se abre frente a nosotros. Es el resultado de muchas horas de estudio, reflexión y selección. Además, se han incluido decenas de gráficos, tablas y ejemplos para ilustrar mejor cada una de las ideas que contiene en un formato visualmente atractivo y didáctico. Por todo ello, quiero agradecer a todos los expertos, profesionales y especialmente a la Fundación Rafael del Pino, por su apoyo, buen hacer y dedicación a este proyecto tan ilusionante. Esperamos que disfrutes de su lectura, y que las tecnologías que recoge y explica estimulen nuevas ideas y planes concretos para mejorar la competitividad y resiliencia de nuestro sistema productivo. •

*Javier García es también Catedrático de Química Inorgánica y Director del Laboratorio de Nanotecnología Molecular de la Universidad de Alicante (UA), Presidente electo de la Unión Internacional de Química Pura y Aplicada (IUPAC), Presidente de la Academia Joven de España, Fundador e impulsor del programa de talento joven Celera y Patrono de la Fundación Gadea Ciencia.

PRESENTACIÓN

JULIO MIRAVALLS

La tecnología humana que más lejos ha llegado es la de las dos sondas Voyager que navegan por los límites del sistema solar hacia el espacio exterior. Ambas fueron lanzadas en 1977 y, por tanto, puede decirse que fueron diseñadas con tecnologías concebidas a finales de los años 60 del siglo pasado. Los grandes descubrimientos del supercolisionador de hadrones del CERN, que en 2012 logró el hito científico de detectar el bosón de Higgs, suelen producirse con tecnologías de diez o quince años atrás, dada la compleja estructura de sus colosales sistemas, que no pueden renovarse continuamente y exigen proyectarse con la máxima seguridad en los componentes para varios años de funcionamiento.

El concepto de tecnologías disruptivas emergentes no debe tomarse exclusivamente como la expresión de la ultimísima invención, el estado del arte, o el desarrollo más puntero que todavía busca su camino para pasar de un prototipo a la fase de un producto viable. La disrupción y el impacto en el mundo real lo producen las tecnologías que ya han alcanzado un grado de madurez suficiente para implantarse y todavía ofrecen una ventana de oportunidad para más desarrollo, para profundizar y para encontrar posibilidades de ir un paso más allá.

La revolución tecnológica, aliándose con la globalización, está cambiando los modelos económicos del mundo, tanto en el aspecto productivo como en el consumo de bienes y servicios. Hay un proceso de desindustrialización en Occidente que, en el caso de España, remontándonos a los datos de cinco déca-

das atrás, es demoledor: si en 1970 el apartado de industria y energía pesaba un 34% en el PIB, según datos de Instituto Nacional de Estadística, en 2017 se redujo a un 16,4%. Si bien es cierto que agricultura y pesca aportaban un 11% hace 50 años y ahora, un magro 2,6%. En cambio, el sector servicios ha crecido desde el 46% hasta un 74%.

La economía de la nueva sociedad, aplicada a la digitalización y los procesos de desarrollo basados en el conocimiento, crea una nueva área de productos y servicios, enormemente competitiva, para el que no se exigen grandes inversiones en infraestructuras, como requeriría la instalación de industria pesada. Los países con un cierto nivel educativo, capacidad de investigación y creatividad pueden participar casi en igualdad en esa competición. La aceleración exponencial de las tecnologías demuestra que cada avance abre nuevas posibilidades de innovación abierta a la intuición y la imaginación de científicos, investigadores, diseñadores y tecnólogos con la preparación adecuada para trazar nuevas rutas.

Este informe, de la cátedra de Ciencia y Sociedad de la Fundación Rafael del Pino, no busca hacer una prospección de nuevas tecnologías prometedoras que, si prosperan lo suficiente, puedan rediseñar por completo el mundo en que vivimos. Nuestro objetivo es buscar la innovación que ya está al alcance de la mano, disponible para generar nuevas oportunidades y en las que, contando con las opiniones de nuestro grupo de expertos, consideramos que España tiene la posibilidad y los medios para encontrar sus propios desarrollos y ventajas competitivas.



Por supuesto, siempre será momento, al hablar de investigación e innovación, de pedir más recursos económicos al gobierno. Pero no sólo se trata en este caso de pedir dinero público, sino de reclamar que se genere una visión, un entorno regulatorio y un clima de estabilidad a largo plazo, no a dos o tres años, que favorezca al ecosistema innovador y estimule a las grandes empresas a hacer también apuestas decididas.

Los grandes planes de inversión en innovación de la Unión Europea tienden a comprometer a tres sucesivas Comisiones: la que diseña y lanza el plan, la que empieza a ejecutarlo y la que lo termina. Así ocurrió con Horizonte 2020, diseñado y lanzado en 2014 por la saliente Comisión de José Manuel Durão Barroso, ejecutada por el gobierno de Jean-Claude Juncker y que será rematado por la próxima de Ursula von der Leyen. Esta, a su vez, se encontrará el siguiente plan, Horizonte Europa, predefinido por su predecesor, lo pondrá en marcha en 2021 y se ejecutará hasta 2027, con la siguiente Comisión ya en los despachos.

Esos grandes planes europeos, de los que las empresas y emprendedores españoles también tienen pleno derecho a participar, se caracterizan por hacer apuestas de máximos a futuro (hace 6 años destinó grandes fondos a la investigación del grafeno y al proyecto Cerebro Humano), y al mismo tiempo fijarse objetivos de desarrollo más o menos inmediatos, sobre cuestiones concretas que, en opinión de sus expertos, puedan tener un rápido impacto beneficioso para Europa.

Esos son la idea y el espíritu de este informe, desde una perspectiva española: identificar 10 tecnologías emergentes, que ya son reales y no puro experimento, con grandes posibilidades de abrir nuevos horizontes si se sabe profundizar en su investigación y desarrollo, en las que nuestro país puede exhibir ciertas fortalezas y posición de ventaja.

Tecnologías cuya adopción y búsqueda de nuevas y mejores aplicaciones puedan dar una ventaja competitiva a España en la era de la industria del conocimiento, asumiendo un papel de liderazgo en el conocimiento y la innovación. •

INTRODUCCIÓN

I

Cuando este informe, destinado a destacar aquellas tecnologías con mayor potencial para mejorar la competitividad de la economía española, se estaba fraguando, nada hacía pensar que un virus iba a impactar sobre nuestras vidas, nuestra economía y nuestras relaciones internacionales. Pero así ha sido y el efecto del COVID-19 ha determinado un enfoque insoslayable.

La pandemia ha desencadenado un contexto recesivo. El cierre de fronteras, el estancamiento del consumo, el efecto parada-arranque y las restricciones a la actividad económica derivadas de las medidas de salud pública vuelven inevitable el retroceso. La respuesta a este escenario requiere de un impulso innovador y transformador sin precedentes.

Por si había alguna duda de la necesidad de una apuesta decidida por la innovación tecnológica y el conocimiento científico como motor de la competitividad, la COVID-19 se ha encargado de hacerla aún más evidente.

En medio de una incertidumbre cada vez mayor y con previsiones de contracción para la economía española de dos cifras, la ciencia y la tecnología parecen llamadas a convertirse en el muro de contención frente a futuras amenazas, pero también en la palanca que proporcione tracción al engranaje de la economía española.

La crisis sanitaria ha demandado respuestas rápidas y complementarias en el plano tecnológico, económico y social. También ha puesto de manifiesto los retos prioritarios y las capacidades que se requieren para afrontarlos. La tríada del conocimiento científico, la innovación tecnológica y el diseño social ha asaltado el pódium de la carrera por un mundo de prosperi-

dad, progreso y sostenibilidad, capaz de afrontar futuras emergencias globales¹.

La batalla por ofrecer soluciones de trazabilidad y seguimiento de los contagios se está librando en el campo de las aplicaciones móviles, la analítica de datos y la inteligencia artificial. La edición genética y la biomedicina constituyen el ariete para derrotar a la COVID-19 desde los laboratorios por medio de la ansiada vacuna. Los sistemas de detección satelital, con amplia trayectoria en aplicaciones ambientales, se convierten en decisivos para controlar el movimiento de poblaciones huéspedes. La nanotecnología demuestra su eficacia en la lucha antimicrobiana, los robots se ocupan de las tareas de desinfección y la impresión 3D aporta componentes para respiradores en tiempos de escasez de suministros.

El engranaje de la transformación digital, caracterizado por la interacción de redes sociales, *cloud-computing*, dispositivos móviles, análisis de datos y decisiones derivadas, se amplía con nuevos horizontes fruto de la maduración algunas tecnologías: Inteligencia Artificial, blockchain, realidad aumentada, computación cuántica. La nueva oleada tecnológica marca tendencias que incluyen la granularidad experiencial, el surgimiento de industrias digitales disruptivas y una dimensión organizacional creadora de nuevas cadenas de valor².

La invitación de dotar de una visión humana a la era postdigital se ha precipitado con el advenimiento de una pandemia, que ha forzado a dar un giro de volante para que las soluciones tecnológicas respondan a necesidades concretas y perentorias. Esto ha servido para medir el grado de fiabilidad del nuevo entorno tecnológico y ha abonado una transformación exprés del trabajo, el comercio, la educación o la medicina. El prefijo tele se ha instalado definitivamente delante de cada uno de estos campos.

¹ Informe COTEC 2020. <https://cotec.es/>

² Accenture, Informes Techvision 2019 y 2020 https://www.accenture.com/_acnmedia/Accenture/Redesign-Assets/DotCom/Documents/Local/2/Accenture-Tech-Vision-2020.pdf#zoom=40

Hasta el turismo, un sector clave en la economía española, afronta por fin su reconversión digital catapultado por las medidas higiénico sanitarias que demanda el nuevo contexto. La analítica de datos y la inteligencia artificial proporcionan la respuesta a las nuevas necesidades de gestión del espacio público de los destinos turísticos, que a fuerza se han de volver definitivamente inteligentes.

La pandemia nos expone con dureza a una contradicción. Vidas amenazadas que solo se protegen si nos aislamos, si nos separamos unos de otros, para estar a salvo en la distancia. Hemos vuelto a esa unidad mínima de supervivencia que es el individuo. Pero al mismo tiempo, como toda catástrofe, extrae lo mejor de esa inercia civilizatoria apoyada en siglos de progreso en común. En este caso, expresada a través de una comunidad científica capaz de publicar en tres meses 2.000 artículos científicos relacionados con COVID-19, compartir de manera abierta e inmediata los resultados de la investigación a través de plataformas y coordinar ensayos clínicos a nivel global para acelerar la obtención de vacunas, tratamientos y nuevos tipos de test más eficaces³.

No está de más recordar que parte de ese ingente esfuerzo investigador tiene una matriz española. Nuestro país se sitúa como cuarta potencia en la realización de ensayos clínicos orientados a la búsqueda de una vacuna. Esto refleja el potencial que se desprende de la existencia de centros de investigación de referencia y de una posición avanzada en campos prioritarios para la lucha contra las epidemias recurrentes, como la edición genética, la biomedicina y la nanotecnología.

La apuesta tecno-científica, sobrevenida a raíz de la crisis sanitaria, ofrece una narrativa cargada de fiabilidad y esperanza para aunar voluntades, tanto desde el sector público como desde el privado. La apuesta

por el conocimiento y la innovación emergen como soporte de un nuevo contrato ciudadano, que permita encauzar voluntades y ofrecer una relato de país adaptado a la gravedad del contexto y capaz de dar respuesta a los desafíos del futuro.

II

A principios de 2019, el catedrático Rafael del Pino y presidente electo de la Unión Internacional de Química Pura y Aplicada (IUPAC), Javier García Martínez, pronunció la conferencia inaugural del Foro Gadea de Ciencia, bajo el título *Situación de la ciencia en España: algunas cifras y unas cuantas reflexiones*.⁴

Antes de concluir la misma, el también presidente de la Academia Joven de España dejaba varias preguntas en el aire. “¿Qué soluciones propone España para los problemas de este siglo? ¿Cuáles son las áreas prioritarias? ¿Cuál es el relato sobre la ciencia?”, inquiría Javier García tras presentar un panorama de la ciencia en España con fuertes claroscuros y una evidente falta de rumbo.

Pablo Artal, catedrático de Óptica de la Universidad de Murcia, Premio Rey Jaime I y miembro del Comité de Expertos de la Cátedra de Ciencia y Sociedad de la Fundación Rafael del Pino, ha sido especialmente crítico a la hora de analizar lo ocurrido en España a raíz de la COVID-19. A su juicio, se trata de un “gran fracaso colectivo”.

“La responsabilidad de todos se construye como la suma de muchas. Y este virus ha mostrado también crudamente el gran fracaso de la ciencia española. Llevamos muchos años con quejas continuas sobre la falta de financiación y apoyo a nuestro sistema de ciencia. Esto es claramente cierto y todos los indicadores lo reflejan. Pero, en realidad, llevamos aún mucho más tiempo con una falta completa de planificación y estrategia que nos ha conducido en la práctica

³ <https://www.cosce.org/comunicado-ante-la-propagacion-del-coronavirus-y-la-covid-19/>

⁴ La conferencia se puede visionar en: <https://www.youtube.com/watch?v=rke-1y1FqGg>

a un desmantelamiento del sistema”, ha escrito Artal⁵.

El diagnóstico de Javier García, explicado con precisión quirúrgica en su conferencia de la Fundación Gadea, reflejaba a principios de 2019 un panorama poco alentador que el tiempo y el estado de excepción sanitario que vive el país en 2020 no hacen sino confirmar.

A pesar del aumento en el número de publicaciones científicas de nuestro país en los últimos años, nuestra producción científica resulta cada vez menos relevante, mientras China, India o Corea del Sur se hacen un hueco en la zona alta de esta clasificación, ya que su crecimiento ha sido realmente espectacular.

Los desinversión en I+D a raíz de la crisis de 2008 sitúa a España a contracorriente del resto de la Unión Europea. Las cifras de la “excepción española” no dejan lugar a dudas. La inversión cayó en los años de los ajustes hasta el 1,19% del PIB frente la media de 2,03% de la UE-28. La inversión en I+D de España se situó en 2017 en el 59% de la media comunitaria, con una inversión por habitante de 318 euros, frente a los 655 de media en la UE (23).

En 2018, la inversión en I+D en España fue de unos 14.900 millones de euros, una cifra similar a la de 2008 (14.700), lo que supone alcanzar el crecimiento anterior a la crisis económica y un ligero aumento durante los últimos años. La tasa de crecimiento de la inversión en I+D estaría cerca del 6,5%, por encima del 6,1% observado un año antes. Esto apunta a un mayor peso de la I+D en la estructura productiva, hasta situarse en el 1,24% del PIB, tres centésimas más de lo registrado en 2017.

Sin embargo, España sigue estando muy lejos del nivel máximo de inversión respecto al PIB previo a la crisis, que alcanzó el 1,35% en 2010, así como del objetivo del 2% que el Plan Estatal de Investigación Científica, Técnica y de Innovación mantiene para 2020, y que ya no es posible cumplir. Además, la trayectoria reciente de España en I+D contrasta con la de la Unión Europea, que en 2017 ya invertía un 25% más que antes de la crisis. Por su parte, el sector privado, entre 2014 y 2018, incrementó su inversión en I+D en 1.678 millones de euros, hasta los 8.484 millones, aunque la apuesta de las empresas europeas por la investigación y el desarrollo duplica a la de las españolas. (Figuras 1 y 2)

5 Jot Down. El gran fracaso de la ciencia española.

En este caso, las cifras no hablan por sí solas porque las decisiones presupuestarias son solo la precipitación visible de lo que viene siendo una tormenta perfecta. Porque si el presupuesto revela una sangría en la inversión, todavía resulta más hiriente el bajo nivel de ejecución del mismo. Apenas un tercio de la inversión pública en I+D+i presupuestada en 2018 fue finalmente ejecutada. Es decir, al sistema solo llegó un euro de cada tres previstos⁶.

El preocupante escenario queda reflejado por el descenso del número de investigadores a tiempo completo, la baja proporción de patentes licenciadas en relación con las publicaciones científicas existentes y el número de *spin-off* universitarias que no termina de arrancar. Un contexto que también se manifiesta en un Ibex 35 donde brillan por su ausencia las empresas tecnológicas y en el déficit de mujeres en los niveles superiores de la profesión científica.

Estas condiciones crean el caldo de cultivo perfecto para el éxodo masivo del talento investigador joven. Muy pocos científicos por debajo de los 40 años tienen un puesto de trabajo estable en el sistema de I+D del país y la carrera científica, marcada por la irregularidad y dispersión de las convocatorias públicas, contribuye a desincentivar el arraigo.

Si a ello se suma el abandono escolar temprano (uno de cada cuatro estudiantes de secundaria no acaba la enseñanza obligatoria) y los déficits en aspectos fundamentales en comprensión lectora y matemáticas señalados por el Informe Pisa, el futuro de la ciencia no invita a muchas aleluyas.

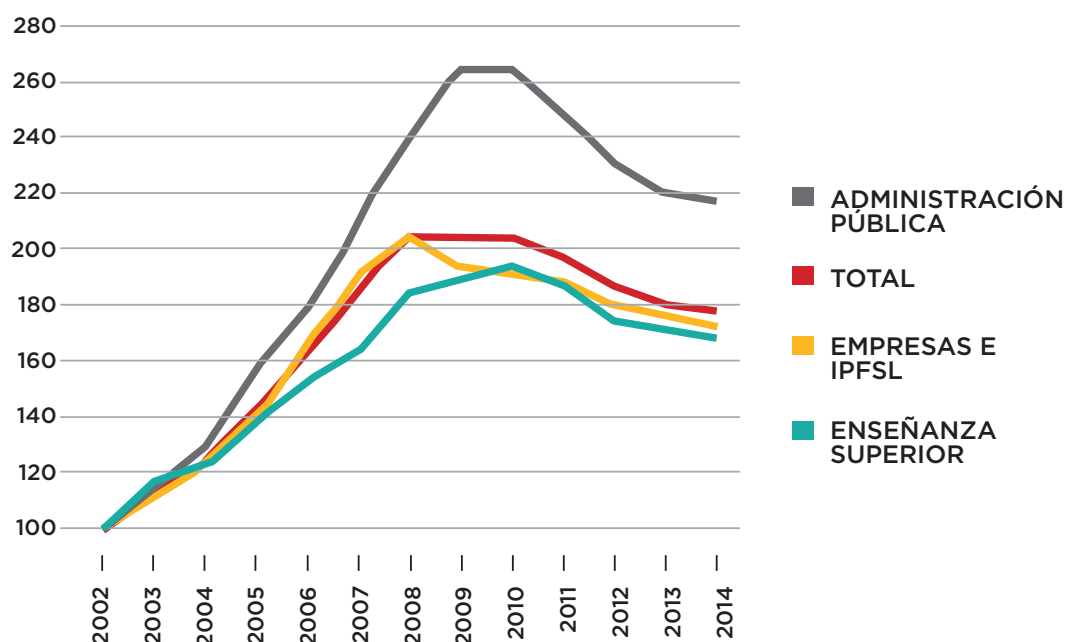
Tampoco parece que la sociedad española esté debidamente informada, pues solo el 16,7% de los consultados por el FECYT en su encuesta de 2018 sobre la percepción social de la ciencia y la tecnología manifestaron un interés espontáneo por la ciencia. Aún más preocupante es el sesgo por género, con una falta de interés mayor entre las mujeres, que explicaría el tradicional déficit de vocaciones científicas entre estas.

Otro aspecto importante cuando se mira hacia el exterior es la falta de apoyo por parte del Estado a las organizaciones científicas internacionales, que ha resultado sonrojante en algunos momentos. Algo que

6 <https://cotec.es/presupuesto-ejecutado-idi-2017-estado/>

Fig. 1 EVOLUCIÓN DEL GASTO EN I+D EN ESPAÑA

(Euros corrientes. Índice 100=2002)



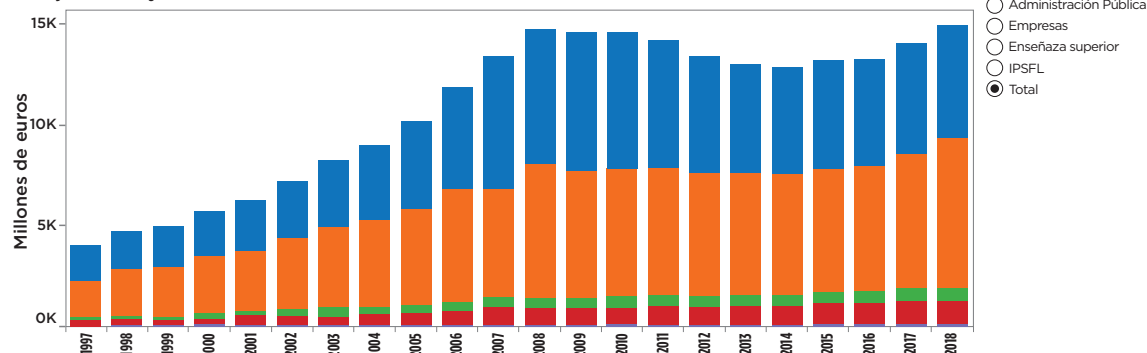
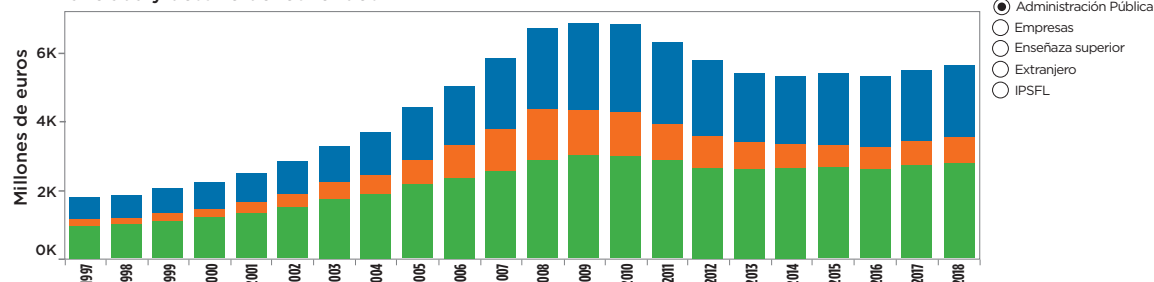
Para visualizar el gráfico actualizado, haz click en el siguiente enlace:

<https://cotec.es/media/2-evolucion-del-gasto-en-id-en-espana/>

Fuente: Informe Cotec

Fig. 2 FINANCIACIÓN DE LA I+D (INE)

Gasto en I+D ejecutado en España, desglosado por sector de ejecución (empresas, enseñanza superior, centros del gobierno, ipsfl) y por fuente de financiación (empresas, enseñanza superior, gobierno, ipsfl y extranjero).

I+D ejecutado y sus fuentes de financiación**I+D financiada y destino de los fondos**

Ejecución y financiación de la I+D. Serie temporal 1997 - 2018

Arriba: Gasto ejecutado, desglosado por fuente de financiación. Abajo: Destino de los fondos aportados por cada ente financiador.

Para visualizar el gráfico actualizado, haz click en el siguiente enlace:

<http://informecotec.es/metrica/financiacion-de-la-id-ine/>

Fuente: Informe Cotec

ha lastrado la presencia española en el tablero de la diplomacia científica⁷.

Pero nuestro país también tiene importantes fortalezas en ciencia y tecnología. España, que con casi 50.000 publicaciones año ocupa un puesto destacado en la producción de conocimiento, posee un ámbito institucional sólido de organizaciones científicas y ocupa un lugar razonable en colaboración internacional y en el retorno de su inversión a los programas de I+D de la Unión Europea (Horizonte 2020).

Todos estos datos nos dan una idea del sistema de ciencia y tecnología en nuestro país, ciertamente frag-

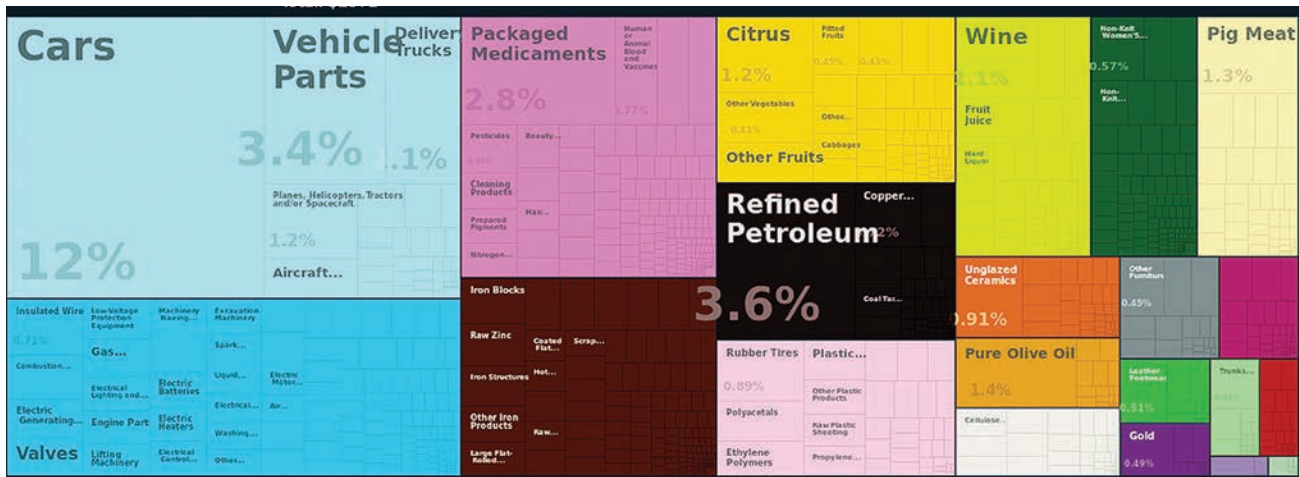
mentado, que requiere de un diagnóstico que vaya más allá de la superficie para que puedan hacerse recomendaciones adecuadas.

III

En 2017, España era la dieciseisava economía exportadora del mundo, hasta alcanzar un valor total de 277.126 millones de euros. Otras fuentes (Atlas de Complejidad económica CID/Harvard) elevan este puesto hasta el 14 y consideran el turismo como la principal fuente de capitalización exterior del país. (Figuras 3 y 4)

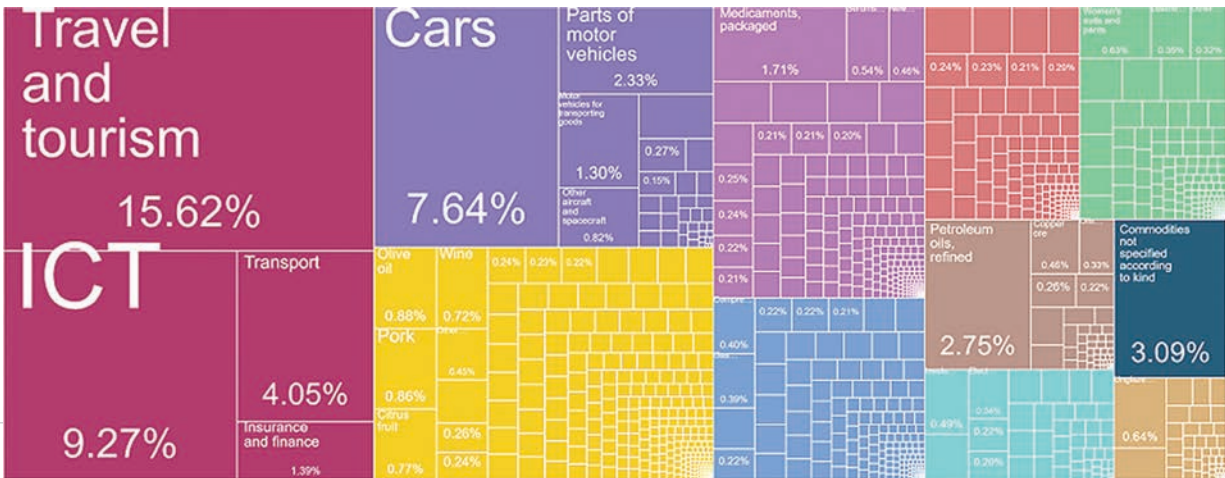
Esta dependencia del conjunto de la economía es-

Fig. 3 y 4 **ESPAÑA, UNA DE LAS ECONOMÍAS MÁS EXPORTADORAS DEL MUNDO EN 2017**
Exportaciones.



Fuente: The Observatory of Economic Complexity.

Para visualizar el gráfico actualizado, haz click en el siguiente enlace:
<https://oec.world/en/profile/country/esp/>

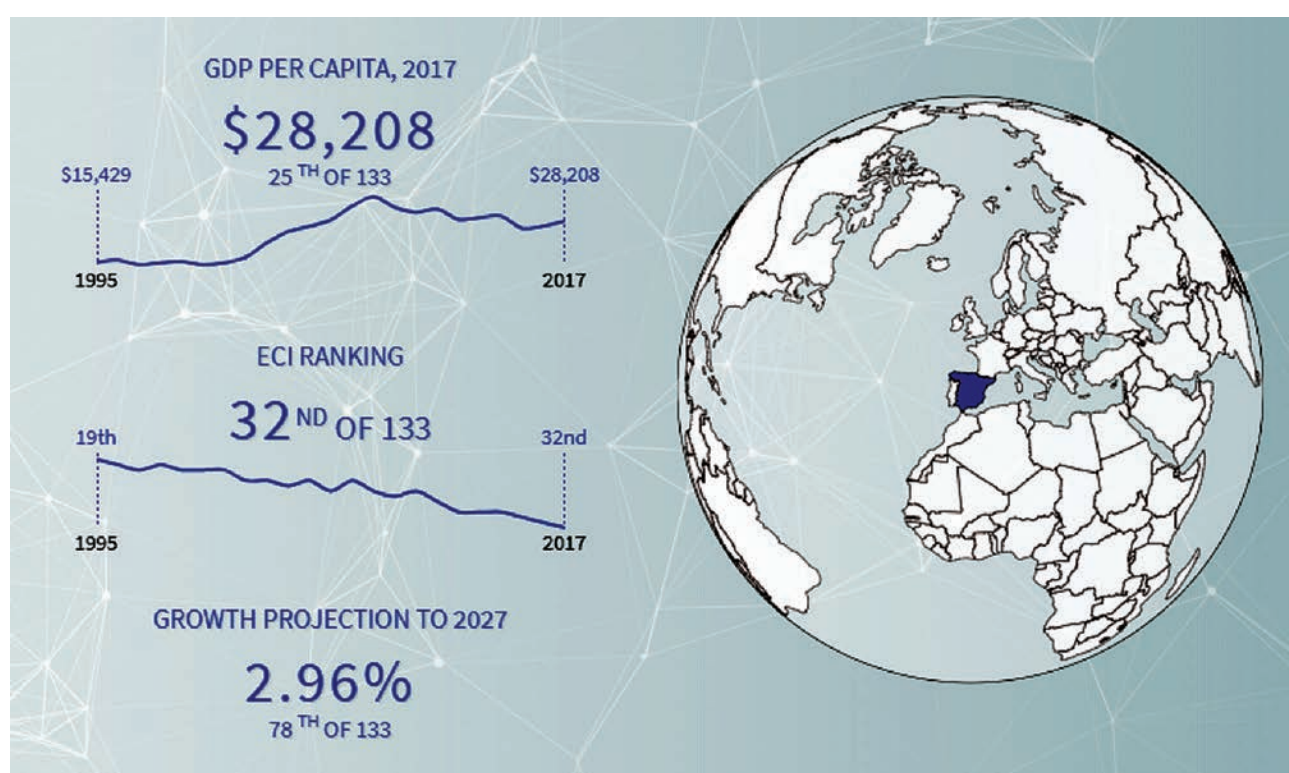


Para visualizar el gráfico actualizado, haz click en el siguiente enlace:
<https://atlas.cid.harvard.edu/countries/71/export-basket>

Fuente: Atlas de complejidad económica CID/Harvard

⁷ Artículo publicado en eldiario.es: "Qué inventen ellos. España desaparece de los comités científicos internacionales". Publicado el 4 de septiembre de 2013.
https://www.eldiario.es/cienciacritica/Comites_Cientificos_Internacionales_6_171892840.html

Figs. 5 y 6 RESUMEN VISUAL DE LA ECONOMÍA ESPAÑOLA Y COMPLEJIDAD ECONÓMICA



Para visualizar el gráfico actualizado, haz click en el siguiente enlace:

<https://atlas.cid.harvard.edu/countries/71/summary>

pañola en relación con las transferencias de capital desde el sector servicios no es algo nuevo. La proporción tiene una curva histórica más o menos constante y revela la falta de adaptación hacia el nuevo contexto innovador y hacia las actividades de alto valor añadido.

El Atlas de complejidad económica CID/Harvard sitúa a España en el puesto 32 del *ranking* de complejidad económica. Otras fuentes elevan la posición hasta el 28 (OEC). A pesar de ello, representa un lugar muy

discreto dentro de la economía mundial en relación con el peso de nuestro país dentro de la economía mundial. (Figuras 5 y 6)

Las principales exportaciones de España son automóviles (\$ 36.4B), petróleo refinado (\$ 10.8B), componentes de automóviles (\$ 10.2B), medicamentos (\$ 8.37B) y camiones (\$ 6.290). Sus principales importaciones son petróleo crudo (\$ 23.2B), automóviles (\$ 20.1B), componentes de automóviles (\$ 15.9B), medicamentos (\$ 9.5B) y gas de petróleo (\$ 7.82B).

Los principales destinos de exportación de España son Francia (\$ 40.5B), Alemania (\$ 33.9B), Portugal (\$ 24.2B), Italia (\$ 22.7B) y el Reino Unido (\$ 20.7B). Los principales orígenes de importación son Alemania (\$ 43.5B), Francia (\$ 37.6B), China (\$ 28.6B), Italia (\$ 23.3B) y los Estados Unidos (\$ 14.9B).

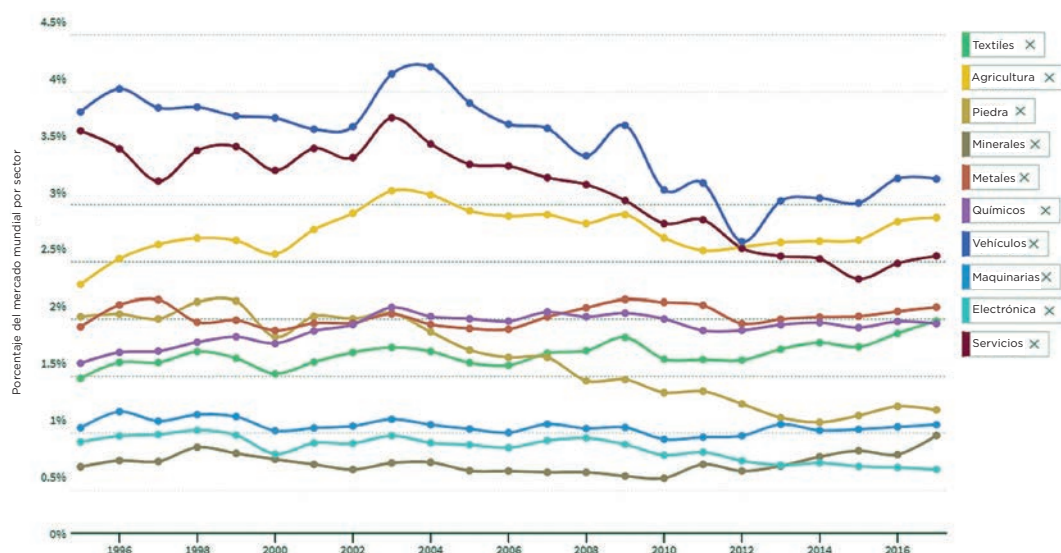
El peso de España en el mercado global de exportaciones recae en tres grandes sectores: el automóvil, la agricultura y los servicios. Una estructura productiva heredada en parte de tiempos pasados y que hace muy complejo el salto a la economía digital. (Fig. 7)

España corre el riesgo de salir aún más rezagada de la crisis provocada por la COVID-19. Su estructura productiva poco diversificada y dependiente de los

dispararse hasta los 100.000 millones de euros. Unas cifras mareantes que hacen que la emisión de deuda alcance los 300.000 millones, según distintas estimaciones. Esta sangría deberán pararla, en parte al menos, el Banco Central Europeo y la banca nacional, potenciales compradores de la mitad de esta deuda⁸.

Sin embargo, cabe la posibilidad de que se haga de la necesidad virtud y esta crisis propicie una transformación digital largamente postergada. La revista Forbes se ha hecho eco de la acelerada integración de muchos ámbitos profesionales en el ámbito de la realidad virtual⁹. El teletrabajo ha llegado para quedarse a empresas y organismos, muchos de ellos refractarios hasta hace poco a los nuevos contextos laborales facilitados por la digitalización.

Fig. 7 **PORCENTAJE DE LAS EXPORTACIONES DE ESPAÑA EN EL MERCADO GLOBAL (POR SECTORES)**



Para visualizar el gráfico actualizado, haz click en el siguiente enlace:

<https://atlas.cid.harvard.edu/explore/market?country=71&product=undefined&year=2017&productClass=HS&target=Product&partner=undefined&startYear=1995>

Fuente: Atlas de complejidad económica CID/Harvard

servicios, especialmente el turismo, auguran un porvenir poco halagüeño. El golpe a las exportaciones, la debacle turística y la caída del gasto en hoteles y restauración, que supone 12 puntos del PIB, dibujan un escenario repleto de retos.

Con una caída de la economía de dos cifras, un descenso en los ingresos de las administraciones públicas de 40.000 millones de euros y un gasto en prestaciones 20.000 millones de euros por encima de lo previsto, el déficit de las cuentas públicas podría

Algunos sectores productivos están viviendo una reconversión acelerada ante la caída del consumo que les conduce hacia nichos de la nueva economía, donde la impronta tecnológica es notable y el foco se aleja del *retail* e incursiona en territorios de especialización relacionados con la salud o el medio ambiente.

⁸ <https://elpais.com/economia/2020-04-19/espana-saldrá-de-la-crisis-mas-rezagada-que-el-resto-de-la-ue.html>

⁹ <https://www.forbes.com/sites/charliefink/2020/03/11/vr-takes-the-stage-as-conferences-cancel/#fa6c57b1dbee>

Un buen ejemplo de esta transformación es el caso de James Dyson, el hombre más rico del Reino Unido, que ha aparcado la producción de aspiradoras inalámbricas sin bolsa para embarcarse en el diseño de un respirador hospitalario para tratar a los enfermos de COVID-19. Diez días ha tardado en ello.

General Motors y Ventec Life Systems, en colaboración con StopTheSpread.org, han llegado a un acuerdo para que Ventec amplíe la capacidad de producción de respiradores sanitarios como respuesta a la pandemia de coronavirus. General Motors pondrá en juego su experiencia en logística, compras y producción.

Por su parte, grandes marcas francesas de moda y perfumería, como Christian Dior, Guerlain, Louis Vuitton y Givenchy han transformado sus fábricas en laboratorios que elaboran gel desinfectante.

The Economist, por su parte, vaticina un nuevo ecosistema empresarial en el medio plazo. Aquellas firmas que sobrevivan al cambio de hábitos de compra, a la pérdida de eficiencia por la parada-arranque y las limitaciones que impongan las medidas de salud pública, se enfrentarán a un nuevo entorno marcado por tres tendencias. Una adopción acelerada de nuevas tecnologías, una retirada inevitable de las cadenas de suministro globales y un aumento preocupante de oligopolios conectados¹⁰.

Otros expertos interpretan en clave sistémica la crisis que se avecina y destacan el nuevo estilo de dirección y la nueva cultura organizacional llamada a imponerse. Un entorno laboral donde la relación presencial se diluirá en beneficio de la eficiencia, la gestión del tiempo, nuevas formas de valorar la productividad y una nueva cultura de empresa¹¹.

Y por supuesto, muchos de los ámbitos económicos asociados al auge de la ciencia y las nuevas tecnologías deberán salir de la penumbra para convertirse en receptores de fondos y potenciales fuentes de riqueza.

Por ejemplo, la edición genética, que ya estaba llamando a la puerta de los inversores gracias a su aplicación en campos como la biotecnología, la biomedicina y la biosíntesis de productos farmacéuticos y biocombustibles, se revela ahora como un gran acelerador en la

búsqueda de vacunas y tratamientos contra la COVID-19 e incluso futuras amenazas para nuestra salud.

Porque como ha escrito el presidente de la Sociedad Española de Virología, Alfred Bosch, “esta pandemia debe servirnos para que todos los gobiernos se den cuenta de la imperiosa necesidad de invertir en ciencia, educación y sanidad como las bases sobre las que avance nuestra sociedad”¹².

Y también para que esa apuesta se haga extensiva a un sector privado capaz de abrazar la innovación para contribuir desde la creación de riqueza a un mundo más justo, seguro y sostenible.

IV

El índice de competitividad global que elabora cada año el Foro Económico Mundial, revela una evolución positiva para España. En 2017 ocupaba el puesto 34, en 2018 saltó al 26 y 2019 ha encumbrado nuestra economía hasta el 23.

Sin embargo, muchos de los “factores problemáticos para hacer negocios” que apuntaba el informe de 2017 siguen vigentes. La ineficiencia de la burocracia, los tipos impositivos altos, las restricciones del mercado laboral y la insuficiente capacidad de innovación encabezaban la lista de aspectos negativos de nuestra competitividad.

Fruto de ello, la representación gráfica de la economía española (Fig. 8) revelaba cuales eran los pilares menos desarrollados y, por tanto, causantes del desequilibrio. Concretamente, la fragilidad de las instituciones, el bajo nivel de sofisticación de negocio (pilar 11) y de innovación (pilar 12), la eficiencia del mercado laboral (pilar 7) y el desarrollo del mercado financiero (pilar 8) se llevaban la peor parte. En cambio, la salud y la educación primaria (pilar 4), las infraestructuras (pilar 2) y la preparación tecnológica (pilar 9) se mostraban como los vectores más sobresalientes.

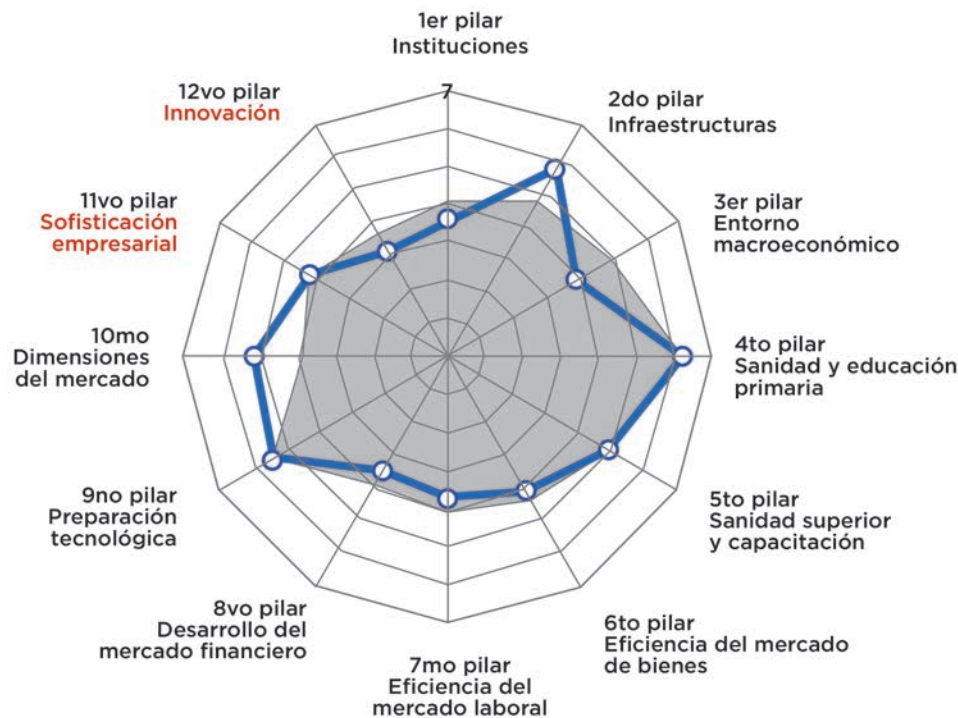
En 2019, la mejoría dentro del ranking de competitividad global se traducía en un avance de 11 puestos, pero las carencias seguían afectando a casi los mismos pilares: capacidad de innovación, dinamismo para los negocios, mercado laboral, mercado de productos e instituciones (Fig. 9)

10 <https://www.economist.com/leaders/2020/04/08/the-coronavirus-crisis-will-change-the-world-of-commerce>

11 https://cincodias.elpais.com/cincodias/2020/04/06/opinion/1586188628_357447.html

12 https://elpais.com/sociedad/2020-04-10/la-pandemia-del-coronavirus-sars-cov-2-desde-la-sociedad-espanola-de-virologia.html?ssm=TW_CM

Figs. 8 y 9 **GEOMETRÍA ESTRUCTURAL DE LA ECONOMÍA ESPAÑOLA 2017 Y 2019**



España

Global Competitiveness Index 4.0 edición 2019

Rango en la edición 2018: 26/140

Resumen de rendimiento Llave ◇ Edición previa △ Promedio grupal de altos ingresos □ Promedio de Europa y América del Norte



Fuente: WEF

Como se indicaba en el arranque de esta introducción, la vocación original de este informe era aportar un nivel de análisis sobre el ámbito de la innovación científica y tecnológica para impulsar el desarrollo y la competitividad de España. Una España que desde el mes de marzo de 2020 ya no es la que era, y quizá no vuelva a serlo.

En aquel planteamiento original, el informe no buscaba divulgar las últimas y más llamativas novedades en el campo de la investigación, sino que pretendía reconocer aquellas iniciativas de base científica y tecnológica que se hallan en proceso de incorporarse a la actividad económica, al conectar su carácter innovador con un alto grado de madurez en su desarrollo y aplicación.

El escenario desatado por la COVID-19, lejos de rebajar la necesidad de reinventar nuestra competitividad desde la ciencia y la tecnología, la ha potenciado. Las diez tecnologías propuestas ya no representan solo el camino para responder a una necesidad estructural de transformación, sino la llave para dar respuesta a las necesidades de un país que ha de salir de una crisis sin precedentes, a la vez que garantiza la salud de su población.

CONCEPTOS CLAVE

Para sintetizar el alcance de las diez tecnologías que se analizan a continuación y su potencial relacional, nos remitimos a cinco conceptos clave.

1. Granularidad.

El tránsito desde la percepción analógica de nuestros sentidos hacia objetos con capacidad para procesar y estructurar análisis, que sean compartidos y cruzados con otros objetos, representa la posibilidad de digitalizar el mundo. La digitalización, aplicada a través de herramientas de Inteligencia Artificial, abre un nuevo espacio para la granularidad. Este nivel de interacción desde la particularidad ofrece un universo infinito de opciones para el mercado, pero también para dar respuesta ante cualquier emergencia social o sanitaria.

2. Creación de nuevos ecosistemas industriales.

Si España es capaz de valorar el sector científico e innovar en campos con un potencial para la creación de nuevos ámbitos industriales, el éxito económico y

laboral está servido. Es el caso de la edición genética. Como escribe Cristina Martínez en el capítulo dedicado a esta tecnología:

“España afronta así el reto de no quedarse a la zaga del resto de países de la UE y de valorar al sector científico, evitando la fuga del talento investigador. Al mismo tiempo, tendrá que abordar la financiación y la creación de una sólida industria alrededor de la edición genética, que marcará el futuro del mercado laboral y su contribución a objetivos tan globales como la salud o la lucha contra el cambio climático. CRISPR comenzó en España. No sería comprensible que la explotación de esta técnica quede en el futuro en manos de otros países, cuando el talento de nuestros científicos está demostrado y es valorado en todo el mundo. Sin olvidar que es clave para la competitividad de nuestra economía”.

3. Campo abonado para el emprendimiento y la nueva economía.

Aunque algunas de estas tecnologías gozan ya de un desarrollo comercial de sus componentes, las aplicaciones ofrecen un campo ideal para la iniciativa y el emprendimiento. Un ecosistema emprendedor adecuado y una buena base de transferencia tecnológica desde universidades y centros de investigación, pueden dar como resultado la creación de nichos de empleo y negocio inéditos. Por ejemplo, como nos cuenta en el informe Andrés Valdés, “en las tecnologías Internet de las Cosas (IoT) puede entenderse que el *hardware*, los diferentes tipos de sensores, ya está sometido a un cierto proceso de ‘comoditización’. Hay fabricaciones masivas en países especializados en la producción con los que no hay mucho margen de competencia. Pero en el diseño de sistemas y aplicaciones las posibilidades son máximas”.

“El despliegue de dispositivos y la capa de *software* para gestionar su utilidad sólo parece requerir la formación específica de buenos desarrolladores, empresas especializadas y gente con imaginación para crear una industria de aplicaciones personalizables y a la medida”, añade.

Si atendemos a las estimaciones del valor generado por esta tecnología, entre cuatro y once mil billones de dólares en 2025, es fácil entender el alcance que puede desencadenar en el ecosistema emprendedor. Según Statista, España ocupa el décimo puesto



en innovación IoT, con 2.784 aplicaciones registradas en 2019.

4. Sinergias tecnológicas y de negocio.

Cada uno de estos entornos tecnológicos se complementa con el resto y aporta valor en diferentes ámbitos de aplicación. La inversión en I+D+i crea nuevas oportunidades para que se desencadenen sinergias que ofrecen un retorno muy interesante, tanto en rentabilidad económica como en nuevos impulsos innovadores. Es el caso de la relación simbiótica que la inteligencia artificial establece con múltiples desarrollos de otros campos.

Si hablamos de energía distribuida, la IA permite anticipar picos de demanda y programar la distribución, con lo que se reducen costes de todos los agentes de la red.

Otro ejemplo de posibles sinergias entre tecnologías lo encontramos en el ámbito de los procesos de negocio y gestión de clientes, donde la comercialización a través de sistemas de IA prevé triplicar su tamaño entre 2019 y 2021 y crecer de 7.000 millones de dólares a 21.000 millones.

En el área de ciberseguridad, su implantación es clave para garantizar la confianza en una red eléctrica

inteligente, donde los puntos de acceso al sistema se multiplican con la diversificación de fuentes y niveles de suministro.

5. Haciendo país. Tecnologías que propician nuevas formas de relación entre el ámbito ciudadano y el corporativo y entre el sector público y privado.

Con una adecuada gestión política, un país como España, que cuenta con una de las mayores redes de contadores inteligentes y una privilegiada exposición a fuentes de energías renovables, podría desarrollar nuevos niveles de colaboración entre ciudadanos y corporaciones. Lo explica Andrés Valdés en el capítulo dedicado a la energía distribuida. “De un lado, fomentando la inversión en instalaciones fotovoltaicas y eólicas, redes inteligentes y sistemas de almacenamiento de los ciudadanos y empresarios. De otro, levantando barreras de entrada en el sector para la llegada de nuevos y necesarios actores y facilitando la imprescindible cooperación de los operadores tradicionales. De la coordinación de todos depende que nuestro país ocupe el lugar que debe tener en este nuevo paradigma donde la sinergia es la mejor forma de energía”.

Estos son solo algunos ejemplos del apasionante mundo de posibilidades que abren las tecnologías

seleccionadas y sus implicaciones para el futuro en todos los ámbitos de la sociedad.

A lo largo del informe se desgranar las diez tecnologías escogidas por un comité de expertos de diferentes ámbitos científicos y tecnológicos. La selección se realizó por medio de una encuesta entre estas personalidades, todas ellas referentes en su campo de conocimiento e investigación. Los capítulos correspondientes incluyen un análisis cuantitativo y cualitativo, que revela las fortalezas y oportunidades de cada una de estas tecnologías para nuestro país, así como las interesantes conexiones entre ellas.

CAPÍTULO EXTRA: LUCHA CONTRA LAS EPIDEMIAS

Se ha incluido al cierre de la edición del informe un último capítulo (10+1) acerca de la lucha contra las epidemias. Los responsables de la Cátedra de Ciencia y Sociedad de la Fundación Rafael del Pino y el equipo a cargo de la elaboración del informe no han querido dejar pasar la oportunidad de analizar el alcance que pueden tener los nuevos desarrollos científicos y tecnológicos orientados a crear las condiciones que permitan superar la crisis de la COVID-19. Esta carrera de la investigación para dar respuesta al gran reto de la salud no finaliza con el hallazgo de la vacuna.

Las epidemias recurrentes han sido, son y serán una constante en la historia de la humanidad. En su libro *El cisne negro*, el especialista en estadística Nassim Taleb introdujo la metáfora de esta anomalía de una especie animal. Pese a ser desconocido por los europeos, el cisne negro acabó por revelar su existencia en un momento dado de la historia.

Del mismo modo, acontecimientos ignotos se vuelven irremediables, así como sus consecuencias. Es el caso de las epidemias, que los cambios en las formas de movilidad y la presión humana sobre los ecosistemas

hacían cada vez más probables, pero que por su condición de “cisnes negros” fueron irresponsablemente ignorados por casi todos.

El capítulo decimoprimer de este informe, que inicialmente estaba pensado como un decálogo, tiene por objeto detectar los avances investigadores y su potencial transferencia a la industria para evitar que las epidemias sigan irrumpiendo como cisnes negros y azote de las sociedades.

CONCLUSIÓN

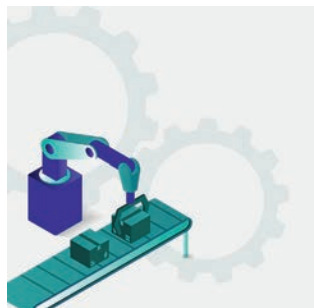
La iniciativa impulsada desde la Cátedra de Ciencia y Sociedad de la Fundación Rafael del Pino, liderada por el científico Javier García, nace con vocación de continuidad. Este primer informe trata de ser un punto de partida para la consolidación del interés por la ciencia y la investigación. Año tras año renovará su contenido, ofreciendo nuevos elementos de análisis y propuestas inspiradoras.

La definición recurrente del momento tecnológico y de las diez tecnologías protagonistas del mismo pretende acercar periódicamente a la sociedad al conocimiento del estado de la investigación y a una valoración de su potencial para mejorar la competitividad española. Si esta apuesta, tal como se pretende, va acompañada de la adecuada difusión, con el tiempo puede proporcionar una base sólida para el conocimiento y la toma de decisiones. Algo especialmente necesario en un tiempo como el que nos está tocando vivir, lleno de retos que superar y que reclama iniciativas para agregar valor y oportunidades al país.

Esperamos, en definitiva, que la lectura de este primer informe de la Cátedra de Ciencia y Sociedad de la Fundación Rafael del Pino despierte el interés en el lector por esas 10+1 tecnologías, apasionantes y esperanzadoras. Una semilla de futuro de fruto seguro, siempre que sea regada con talento científico e investigador y con una apuesta colectiva por la innovación. •



10 TECNOLOGÍAS EMERGENTES PARA IMPULSAR A ESPAÑA



1
INTELIGENCIA
ARTIFICIAL



6
ENERGÍA
DISTRIBUIDA



2
EDICIÓN
GENÉTICA



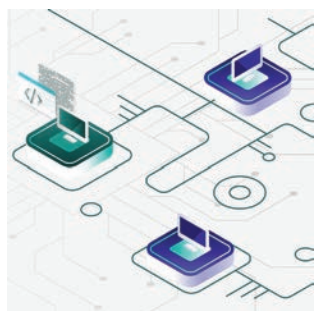
7
DATOS DE
SATÉLITES
PARA TOMA
DE DECISIONES



3
SEGURIDAD
DIGITAL



8
NUEVAS
TECNOLOGÍAS
PARA COMBATIR
EL ENVEJECIMIENTO



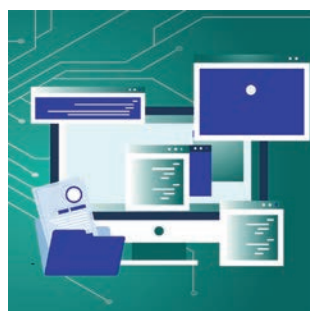
4
INTERNET
DE LAS COSAS



9
ENERGÍAS
RENOVABLES



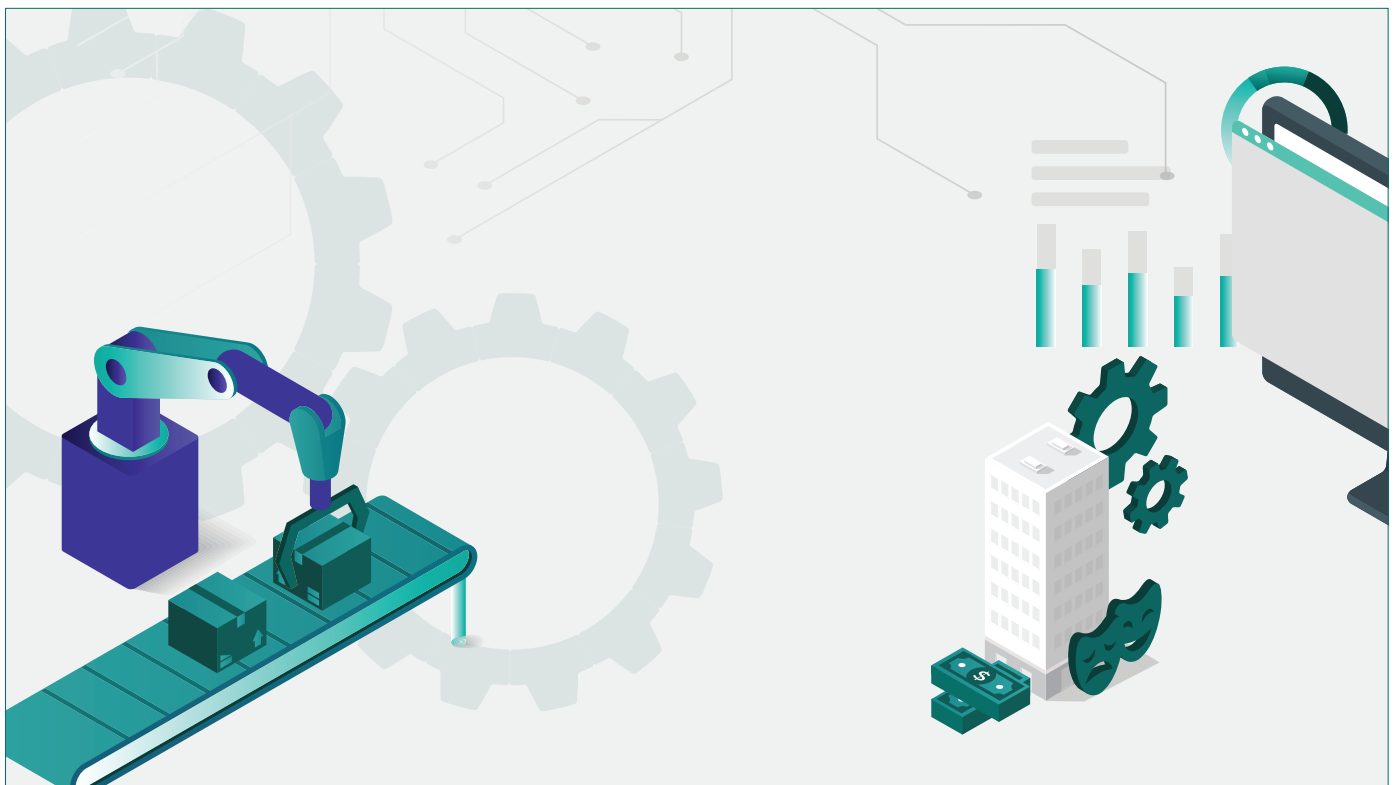
5
MATERIALES
FOTOACTIVOS
AVANZADOS



10
BLOCKCHAIN

Capítulo **1** INTELIGENCIA

A R T I F I C I A L





1 INTELIGENCIA

A R T I F I C I A L

Vehículos autónomos, asistentes personales, robots, medicina de precisión

JULIO MIRAVALLS

Revestida de un halo de mitificación, producto de interpretaciones literarias y fantasiosas, la inteligencia artificial es una combinación de tecnologías de computación, almacenamiento de datos y programación de algoritmos. Resulta ingenuo esperar de un sistema IA respuestas imaginativas, improvisación ante situaciones inesperadas o decisiones basadas en sentimientos, emociones y deseos, como cabría suponer de una inteligencia humana. Aunque sí se puede contar con que responda a sensaciones: si recibe un input de baja temperatura, respecto a la establecida como objetivo, reaccionará emitiendo la orden de encendido de la calefacción, si así está previsto en su catálogo de respuestas.

Ese es el inmenso campo de la IA: el análisis de datos que recibe y la comparación con los datos que ya posee, para establecer la respuesta predefinida que mejor encaja con la situación. Una actividad sin barreras espaciales, porque puede relacionarse con el usuario a través de un *smartphone*.

A partir de esta explicación simplista, las capacidades progresan geométricamente en la medida en que lo hacen la potencia de cómputo, la profundidad de los catálogos de datos a los que tiene acceso la IA, la complejidad de los algoritmos que interpretan la información para inferir sus respuestas y la variedad, calidad y sofisticación de los canales y dispositivos para la captación de datos.

La disponibilidad de cantidades masivas de datos y el desarrollo de algoritmos capaces de detectar en ellos determinados patrones de comportamiento para

'predecir' otros futuros, asociados a un específico bloque de información (supongamos, la información propia de un sujeto, comparada con los patrones de una gran cantidad de sujetos), atribuyen a la IA una dimensión de aprendizaje, llamada *Machine Learning*. Este potencial predictivo permite inferir probables resultados respecto a eventos que aún no se han producido.

La capacidad de visión computacional, analizando imágenes para distinguir unos objetos de otros, añade otra dimensión a la capacidad de inferencia de la IA. Puede, por ejemplo, 'leer' un texto a partir de una imagen, identificando las letras, igual que puede reconocer a una persona.

La complejidad de ese tipo de datos reclama una mayor capacidad de computación para identificar objetos, parecidos a otros o vistos desde diversas perspectivas. Para ello se aplica una estrategia de redes neuronales, que se estructuran en una serie de niveles jerárquicos, para una técnica denominada *Deep Learning*.

Esa estructura de capas sirve de tamiz para que el sistema vaya filtrando la información, desde un nivel básico, hasta obtener una sucesión de combinaciones de lo que cada nivel detecta, creando un patrón de datos más complejo.

La inteligencia artificial interpreta el sonido, reconociendo palabras pronunciadas y aprende a comprender, con el conocimiento desde la palabra escrita, el lenguaje natural, la estructura de los patrones semánticos, oraciones y significados.

No entiende, sino que interpreta el sentido lógico de

las frases. Es poco probable, por ahora, que una IA detecte sutilezas del habla humana, como la ironía y el doble sentido. Pero sí puede interpretar órdenes, consultas o comentarios, dando respuestas coherentes, también en lenguaje natural (por escrito, o con un sintetizador de voz), procedentes de su base de conocimiento.

La suma de estas capacidades, más la posibilidad de activar mecanismos y actuadores para generar acción y movimientos en el mundo real, dibujan un perfil suficientemente realista del ilimitado ámbito de aplicaciones que tiene la inteligencia artificial, incluso en la definición desnuda del primer párrafo. Sistemas complejos, como el vehículo autónomo, han de basarse en la integración de múltiples entradas de datos del entorno, visión, comunicaciones con sistemas automáticos de información y otros vehículos, capacidad de identificación de objetos estáticos y en movimiento y procesamiento en tiempo real, sin margen para el error en la toma de decisiones como avanzar, frenar, girar y evitar obstáculos.

La exactitud y rigor con que puede actuar la IA le otorgan un espacio en la sanidad para controlar sistemas de alta precisión, como los necesarios en microcirugías, exploraciones y tratamientos radiológicos, diag-

nósticos basados en sintomatología y observación detallada de radiografías, tomografías y otro tipo de pruebas físicas.

EL PAPEL DE ESPAÑA

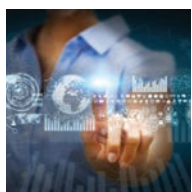
La parálisis política mantiene en el limbo el proyecto de Estrategia Nacional en Inteligencia Artificial, pero hay infinidad de posibilidades de desarrollo de aplicaciones para el uso de inteligencia artificial. Empezando por crear los ámbitos de confianza y seguridad, con

normas y criterios éticos para su aplicación. La aplicación de inteligencia en toda clase de procesos educativos, investigadores, industriales y de producción abre el campo a desarrollos para actividades locales, o con ambiciones globales. A corto plazo, es decir, ya, va a ser un factor

decisivo en la competitividad de las empresas.

En lo referido al uso del lenguaje natural, en aplicaciones como asistentes personales (del tipo Siri, Cortana, Alexa... y el español Sherpa, entre otros) y chatbots (algoritmos conversacionales que proliferan en servicios de atención al cliente online), es obvio que España debe jugar un papel relevante en los desarrollos en un idioma que hablan más de 400 millones de personas. Esto también es aplicable a los múltiples tipos de robots asistenciales o de atención al público. •





CON DATOS EN LA MANO

#1 Inteligencia Artificial

ANDRÉS VALDÉS

Todos los algoritmos que nos recomiendan productos online, los bots que dan servicio a nuestros clientes, el altavoz que apaga las luces a nuestra orden o las máquinas que colaboran con operarios en fábricas de automóviles son solo algunos ejemplos de la aplicación/uso de la Inteligencia Artificial (IA) en nuestras vidas. Gracias al volumen masivo de información sobre nuestro mundo y a algoritmos mejorados, las disciplinas subalternas de la IA como el *Machine Learning*, la Visión Artificial o el Procesamiento del Lenguaje Natural han conseguido enseñar a las máquinas a buscar patrones y decidir con más rapidez que nunca. Aunque hace mucho que perdemos al ajedrez contra programas de ordenador, hoy, sin apenas darnos cuenta, vivimos asistidos por *software* que nos hace nuestra vida más cómoda, pero que también está transformando sectores completos, nuestra forma de trabajar, informarnos y relacionarnos.

Sus limitaciones, sin embargo, hacen que sea impreciso concebir su actividad como inteligente en un sentido humano. A finales de 2019, instituciones políticas y jurídicas como la OCDE o la International Bar Association¹ consideraban que toda la Inteligencia Artificial en el mercado, el estado del arte de esta tecnología, era todavía *débil*. La meta de la disciplina sigue siendo construir una IA ortodoxa o *robusta*: un sistema artificial que pueda desenvolverse en entornos sin estructura virtuales o reales, aprender de forma independiente, comunicarse con otros agentes y tomar decisiones autónomas. Evolucionar desde la computación al razonamiento².

Las posibilidades de la IA en la energía, la sanidad, la educación, la administración o defensa que abren ambos estados de la tecnología la convierten en el motor de la cuarta revolución industrial, un mundo postdigital que se definirá por depender de sistemas autónomos interconectados³. Por esta razón, avanzar en las diferentes vertientes de la IA, transferir los desarrollos y regular su impacto en la sociedad son ya una prioridad para los actores globales, como evidencia la carrera científica, económica y política disparada, sobre todo en EE UU y China, desde finales de la pasada década. Si España permanece retrasada en la implementación de la IA a su tejido productivo, corre el peligro de comprometer su competitividad y por tanto el futuro de organizaciones y empresas.

LA CARRERA

El interés de los países y empresas por liderar las posibilidades que ofrece la IA tiene un indicador claro en los movimientos del capital riesgo. Desde hace dos años, más del 12% de las operaciones globales de estos inversores se concentran en *start-ups* de IA, un volumen de compra que superó los 20.000 millones de dólares en 2018⁴ tras haberse duplicado el ejercicio anterior. Las empresas emergentes del sector en EE UU y China atraen más del 85% de estas inversiones. Aunque la Unión Europea es la tercera región más interesante para estos fondos, el atractivo de su industria está mucha distancia del de ambas potencias: las *start-ups* del continente captan el 8% del dinero, con Reino Unido, Francia, Alemania y España repartiéndose el grueso de la inversión⁵. El riesgo de que Europa se convierta en un actor pasivo, comprador de tecnología en lugar de proveedor, es, como advierte la mayor red de expertos europeos en este campo, el proyecto Ellis, bastante real⁶.

1 ARTIFICIAL INTELLIGENCE AND ROBOTICS AND THEIR IMPACT ON THE WORKPLACE. IBA, 2017. Pg 10
<https://www.oecd-ilibrary.org/docserver/726fd39d-en.pdf?expires=1578786010&id=id&accname=guest&checksum=D93CBB2565D6F120A225DD1C7E99C3FF>

2 <https://iahuawei.xataka.com/inteligencia-artificial-debil-vs-fuerte-donde-llega-otra-infografia/>

3 Accenture, pág. 2

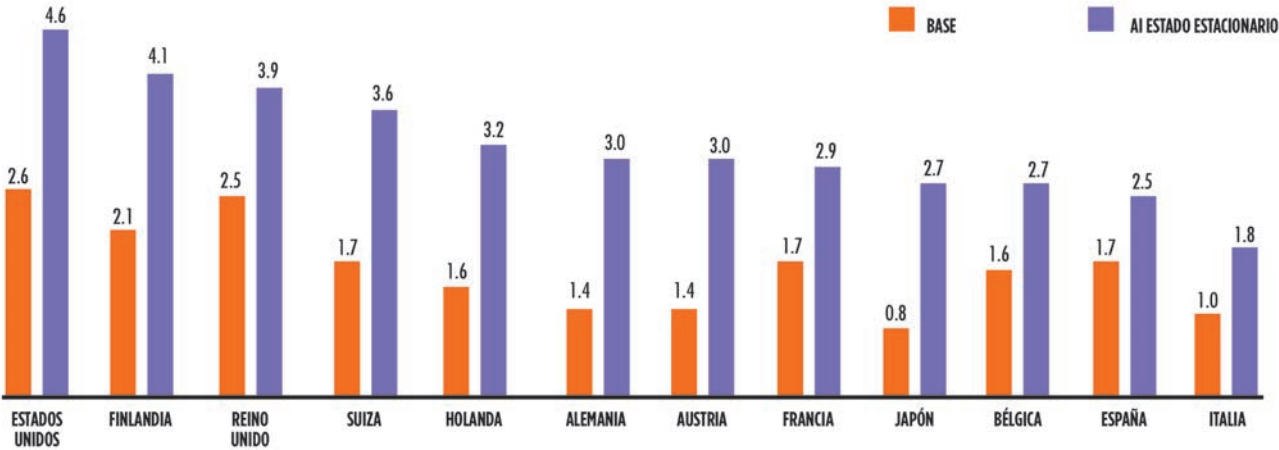
4 OCDE <http://www.oecd.org/going-digital/ai/private-equity-investment-in-artificial-intelligence.pdf>

5 idem

6 <https://ellis.eu/letter>

Fig. 1 LA CARRERA ECONÓMICA. EL IMPACTO ECONÓMICO DE LA IA

En términos del valor añadido bruto (una buena aproximación al PIB), la IA podría doblar las tasas de crecimiento anual en los países analizados.



Fuente: Accenture y Frontier Economics

Fig. 2 ADOPCIÓN DE IA POR INDUSTRIA Y FUNCIÓN (2009)

	Operaciones de servicio	Desarrollo de producto / servicio	Márketing de ventas	Fabricación	Cadena de suministro mgmt	Riesgo
Todas las industrias	42	35	27	19	18	17
Automotor	26	43	13	53	18	9
Servicios profesionales	36	31	29	10	17	12
CPG	28	12	28	32	29	11
Energía y gas natural	49	42	17	21	19	12
Servicios financieros	55	25	43	2	12	42
Cuidado de la salud	50	31	19	10	12	10
Alta tecnología	49	55	37	12	14	14
Infraestructura	28	43	11	30	13	6
Pharma	26	41	16	41	11	3
Sector público	39	36	5	4	15	12
Al por menor	47	33	36	14	34	14
Telecom	74	48	28	21	27	30
Viajes y logística	52	20	17	7	31	5

Porcentaje de encuestados

Fuente: McKinsey & Company

En los próximos años se estima que el valor del mercado de la IA alcance los 190.000 millones de dólares⁷, equivalente a la actual capitalización bursátil de Apple. Otros informes prevén que en 2035 la implementación completa de esta tecnología en economías avanzadas inyecte tasas de crecimiento dos veces su-

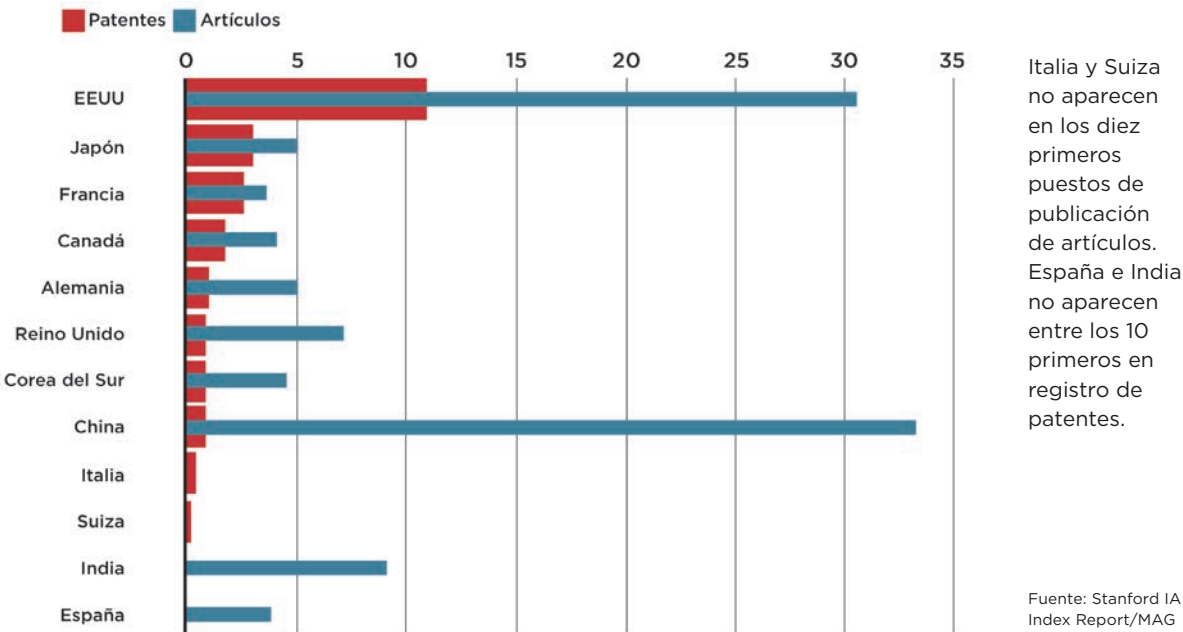
periores a las que se darían sin IA. Por su condición híbrida como factor capital y factor trabajo, va resultar decisiva para el crecimiento del PIB en países como Alemania, Suecia o Finlandia⁸ y elevará en cerca de un punto las expectativas para España o Italia. Bajo esas condiciones, la productividad nacional en la Unión podría mejorar entre un 11 y un 34%. (Fig. 1)

7 <https://www.marketwatch.com/press-release/artificial-intelligence-market-is-estimated-to-be-worth-us-191-billion-by-2024-2019-01-23>

8 <https://www.accenture.com/gb-en/insight-artificial-intelligence-future-growth>

Fig. 3 **PATENTES Y ARTÍCULOS CIENTÍFICOS SOBRE IA**

En militares. Principales productores globales en el periodo 2015-2018.



La información disponible sobre el grado de implementación de la IA en las corporaciones sugiere que si bien la carrera por la supervivencia en el nuevo entorno no ha empezado, sí se están intensificando los preparativos. Para las empresas, continuar en el mercado o acercarse a la expulsión durante esta década dependerá de cómo integren esta tecnología en sus unidades organizativas. Prácticamente la mitad de las compañías líderes en automoción, salud, energía, tecnología o servicios financieros han incorporado ya al menos una solución de IA en su estructura y otro 30% afirma estar evaluando sus posibilidades. Aunque utilizar *software* autónomo para optimizar las operaciones de servicio se ha convertido en una práctica mayoritaria en telecomunicaciones (72%) y servicios financieros (55%)⁹, la aplicación de la IA a todos los procesos productivos y su interconexión se encuentra todavía en pruebas. La IA es, en estos momentos, una solución parcial¹⁰ llamada a atravesar toda la producción en un futuro próximo. (Fig. 2)

Las empresas europeas también se preparan, especialmente en la industria de la salud, pero también en las manufacturas y la venta minorista. La comercialización de sistemas de IA para procesos de ne-

gocio y gestión de clientes prevé triplicar su tamaño entre 2019 y 2021 y crecer de 7.000 millones de dólares a 21.000¹¹.

Aunque la idea de una inteligencia artificial completa remita instintivamente a la robótica, las empresas del sector basan su competitividad en la cognición que precede al movimiento inteligente: el *software* y los datos. El liderazgo en patentes de IA lo ostentan compañías de programación, por delante de multinacionales de las telecomunicaciones, internet y electrónica de consumo.

La velocidad que ha adquirido la IA como ciencia aplicada es palpable: solo en los tres primeros meses de 2019, las diez compañías más innovadoras en este sector registraron un 14% de licencias más que en todo el año anterior, dato que agrupa 91.569 aplicaciones comerciales de IA¹².

A escala país, EE UU es el principal productor de aplicaciones técnicas inteligentes, con una media de 10.000 patentes anuales entre 2015 y 2018¹³. Su I+D no tiene rival en este sentido; en conjunto, las grandes economías asiáticas, Japón, Corea del Sur y China, solicitan apenas la

9 <https://www.mckinsey.com/~media/McKinsey/Featured%20Insights/Artificial%20Intelligence/AI%20adoption%20advances%20but%20foundational%20barriers%20remain/Notes-from-the-AI-frontier-AI-adoption-advances-but-foundational-barriers-remain.ashx>

10 idem

11 <https://www.idc.com/getdoc.jsp?containerId=prEUR145476719>

12 Iplytics/Statista. <https://es.statista.com/grafico/18202/empresas-con-mas-patentes-de-inteligencia-artificial/>

13 https://hai.stanford.edu/sites/g/files/sbiybj10986/ff/ai_index_2019_report.pdf

mitad de licencias cada año. España queda fuera de los 24 países con mayor número de patentes.

Sin embargo, la posición de nuestro país en esta carrera es “competitiva” según el AI Index Report de la Universidad de Stanford. Si bien la UE como bloque es el segundo productor global de artículos científicos sobre IA, España está entre los nueve primeros países del mundo en publicación de investigaciones. Esta actividad descansa sobre una red universitaria por encima de la media europea y en línea con la de estados como Suecia y Países Bajos al contar con más de 20 centros con formación específica en IA. Además, la ratio de profesionales españoles formados en este campo es elevada¹⁴.

Según recoge la Estrategia Española de I+D+i en Inteligencia Artificial¹⁵, los cuatro países europeos más relevantes en esta industria son Reino Unido, Francia, Alemania y España. Reúnen en conjunto al 60% de *start-ups*, laboratorios y comunidades dedicados a la IA¹⁶. (Fig. 3)

Los gobiernos de los países más industrializados, y muchos de los que se encuentran en desarrollo, han comprendido las oportunidades y riesgos que desencadenará la irrupción de esta tecnología en sus economías. Desde que Canadá desarrolló en 2017 la primera estrategia nacional de IA hasta finales de 2019, un total de 49 gobiernos han publicado programas específicos para afrontar su desarrollo, la mayoría de carácter integral e imbricados en planes supranacionales¹⁷. Para la Comisión Europea, el desarrollo de la IA es uno de los dos imperativos tecnológicos, junto con la conectividad, para garantizar que la economía comunitaria sea relevante en esta década¹⁸. (Fig. 4)

La recientemente publicada Estrategia Española de I+D+i en Inteligencia Artificial¹⁹ recoge un Mapa de Capacidades que captura el estado de la tecnología en nuestro país. La base de datos refleja que existen 154 entidades entre empresas, administraciones, universidades y organizaciones del tercer sector, con

14 https://hai.stanford.edu/sites/g/files/sbiybj10986/f/ai_index_2019_report.pdf

15 http://www.ciencia.gob.es/stfls/MICINN/Ciencia/Ficheros/Estrategia_Inteligencia_Artificial_IDI.pdf

16 <https://www.rolandberger.com/fr/Publications/Joining-the-dots-A-map-of-Europe's-AI-ecosystem.html>

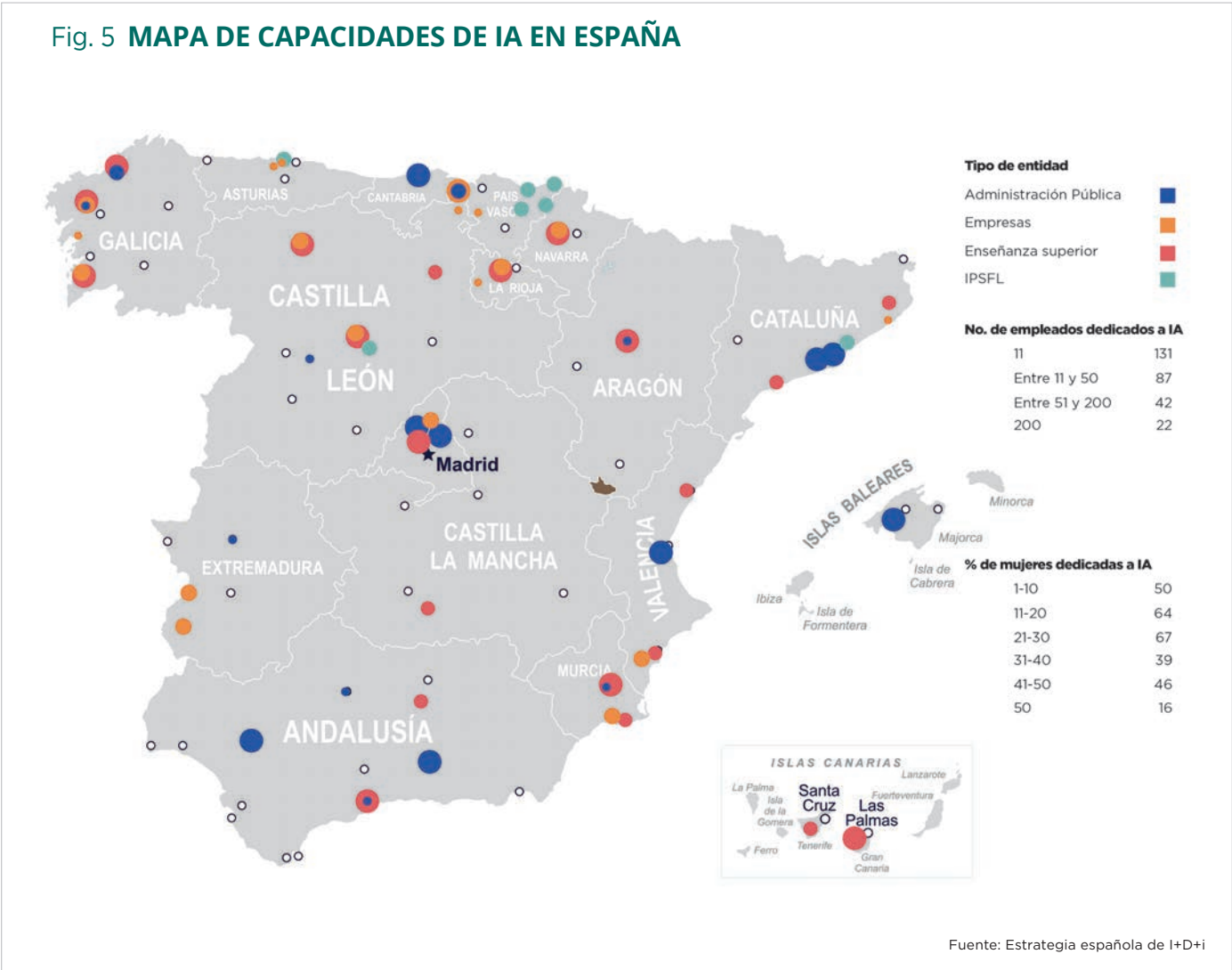
17 <https://oecd-opsi.org/projects/ai/strategies/>

18 Informe publicado por la Comisión Europea en abril de 2018 y titulado “Búsqueda de la industria: definición de innovación”

19 http://www.ciencia.gob.es/stfls/MICINN/Ciencia/Ficheros/Estrategia_Inteligencia_Artificial_IDI.pdf



Fig. 5 MAPA DE CAPACIDADES DE IA EN ESPAÑA



Fuente: Estrategia española de I+D+i

alrededor de 13.000 empleados, que desarrollan o demandan tecnologías o servicios de IA²⁰. España es el sexto productor de conocimiento científico en estas tecnologías con mayor presencia de investigadores²¹. (Fig. 5)

La apuesta por la IA crece y con ella el debate sobre sus límites. Los sistemas inteligentes formarán parte o sustituirán los procesos rutinarios de las actividades humanas. Decenas de trabajos cualificados y no cualificados se volverán prescindibles o serán reemplazados por procesos relacionados con la IA. La efectividad que obtengan los algoritmos de los datos y la programación tendrá consecuencias en la vida de las personas. La desigualdad podría verse exacerbada por la implantación de la IA en industrias que dan trabajo a millones de personas. Se estima que, en el

futuro cercano, un tercio de los empleos que hoy requieren titulación universitaria serán realizados por *software* inteligente²². En esta década, los funcionarios liberarán una porción similar de su jornada laboral con esta tecnología²³. Algunas previsiones fijan en 2022 la primera campaña de impuesto sobre la renta ejecutada por sistemas de IA en los países más avanzados²⁴.

La colisión de la IA con la sociedad trasciende a la empresa y la política, por lo que el reclutamiento de profesionales expertos en IA está demandando también perfiles con formación en humanidades y en ciencias sociales²⁵. La razón de fondo es muy humana: en una competición todo el mundo quiere a su lado a las mejores, pero nadie termina de fiarse de un cerebro sin alma. •

20 Mapa de Capacidades de tecnologías de IA. <http://www.ciencia.gob.es/portal/site/MICINN/menuitem.26172fcf4eb029fa6ec7da6901432ea0/?vgnextoid=70fcd77ec929610VgnVCM-1000001d04140aRCRD>

21 https://hai.stanford.edu/sites/g/files/sbiybj10986/ff/ai_index_2019_report.pdf

22 AI-and-Robotics-IBA-GEI-April-2017.

23 <https://www.oecd-ilibrary.org/docserver/726fd39d-en.pdf?expires=1578786010&id=id&accname=guest&checksum=D93CBB2565D6F120A225DD1C7E99C3FF>

24 AI-and-Robotics-IBA-GEI-April-2017.

25 idem

Capítulo **2** EDICIÓN

G E N É T I C A





Y sus implicaciones a nivel médico y ético

JULIO MIRAVALLS

Hablar sobre edición genética requiere casi más una crónica política, combinada con una revisión histórica, que una descripción de tecnologías.

El 25 de julio de 2018, el Tribunal de Justicia de la Unión Europea determinó que cualquier organismo creado utilizando técnicas de edición genética debería ser clasificado como transgénico (*GMO, genetically modified organism*) y por tanto sujeto a la legislación de 2001 de la Unión Europea que los regula. Es decir, que prohíbe su desarrollo y utilización.

La primera secuenciación completa del genoma de un organismo autosuficiente, la bacteria *Haemophilus influenzae*, se produjo en 1995. Dos años antes, un investigador del departamento de Fisiología, Genética y Microbiología de la Universidad de Alicante, Francisco Juan Martínez Mojica, había descubierto en el microorganismo *Haloferax mediterranei* la repetición regular de determinadas secuencias genéticas. La investigación le llevó a verificar como actúa el sistema inmunológico de las bacterias para defenderse de los virus, alojando en su genoma pequeños segmentos de ADN idénticos a los de los virus, para prevenir y rechazar un ataque identificando ese ADN y eliminándolo. En 2005 Martínez Mojica bautizó públicamente esas regiones genómicas con las siglas CRISPR (Clustered Regularly Interspaced Short Palindromic Repeats).

En 2012, sin embargo, se atribuyó a la estadounidense Jennifer Doudna y la francesa Emmanuelle Charpentier, trabajando en Suecia entonces (ahora en el Max Planck, en Berlín), todo el mérito del CRISPR, al

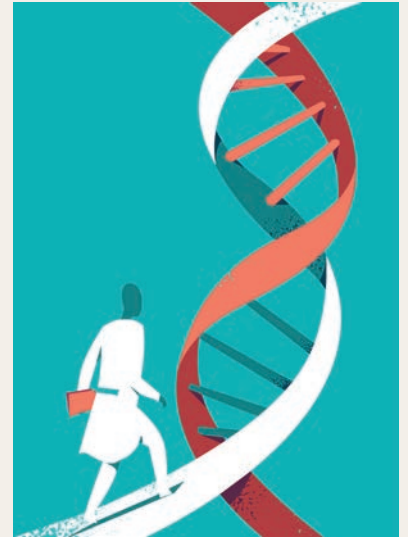
desarrollar la técnica de edición molecular de 'corta y pega', con la que se puede, efectivamente, modificar genéticamente un organismo, introduciendo nuevas características o eliminando las perjudiciales.

Doudna, de la Universidad de Berkeley, mantuvo un largo pleito de patentes con Feng Zhang, de Harvard y el Instituto Broad del MIT (con una patente sobre aplicación de CRISPR a las células eucariotas), con resultados diversos en Estados Unidos y Europa. Ella y Charpentier han recibido varios premios internacionales, incluido el Princesa de Asturias en 2015. Al entonces ignorado Mojica se le menciona con frecuencia como candidato al Nobel, junto con ellas dos...

La metodología CRISPR/Cas9, utilizando el modelo investigado por Martínez Mojica, consiste en introducir un 'vector', un virus bacteriano que contiene un segmento específico de ADN. Cas9 es una enzima que actúa como una especie de tijera molecular que corta el ADN. Imitando el comportamiento de la bacteria, ese segmento se asocia al ADN del sujeto receptor, insertando o alterando alguna característica en una región genómica específica. Cambios que pueden hacerse en organismos básicos o en organismos complejos, animales o seres humanos.

CRISPR no es el único método para producir alteraciones genéticas. Se ha intentado desde que en 1953 Crick, Watson y Wilkins descubrieron y describieron la doble hélice del ácido desoxirribonucleico. Incluso antes, el padre de la genética, el monje Gregor Mendel, combinó y seleccionó características por herencia, cruzando sus guisantes.

En 1978, Michael Smith (Nobel de Química en 1993)



desarrolló la técnica denominada mutagénesis dirigida, capaz de alterar un gen concreto, utilizando enzimas nucleasas. Mutaciones que se transmiten en la herencia genética. La evolución de las herramientas de edición genética orientada utiliza nucleasas específicas que actúan sobre el ADN, con la técnica denominada New Plant Breeding Techniques (NPBT).

Esencialmente, esta es el acta de bautismo de los denominados transgénicos. Generalmente organismos vegetales con características alteradas para resistir mejor la sequía, ser inmunes a plagas y agentes químicos pesticidas, producir crecimiento acelerado o añadir elementos nutricionales de los que originalmente carecían.

La batalla contra los transgénicos, argumentada en el riesgo de cambios descontrolados y alteraciones del ecosistema (es decir, el miedo a lo desconocido), se cerró en la UE con la prohibición de hecho en 2001, cuando sólo se hablaba de plantas y alimentación. Lo cual, por cierto, no garantiza que no entren en la cadena alimentaria elementos transgénicos, vegetales o productos animales criados con ellos, a través de importaciones de Estados Unidos y países asiáticos (el arroz es uno de los alimentos sobre los que más se investiga) donde sí están autorizados, mejorando su competitividad frente a la agricultura europea.

Pero la discusión alcanza una nueva dimensión con la consolidación de las técnicas CRISPR, que permiten actuar con gran precisión sobre animales e incluso seres humanos. La posibilidad de actuar a nivel genético sobre enfermedades relacionadas con la degeneración celular (véase también la lucha contra el envejecimiento), atacar directamente a las células

cancerosas y los marcadores genéticos que las activan, choca con un dilema ético superior: ¿hasta dónde sería admisible una eventual alteración del ADN humano?

Lo que está en discusión no es tanto la curación (erradicación incluso) de enfermedades, como el riesgo de búsqueda de determinadas características para ‘mejorar’ a determinados seres humanos, o hacer que se ajusten a ciertos cánones que los incluyan en un grupo ‘superior’. Bebés a la carta. O el mundo feliz de Aldous Huxley, con castas genéticamente diseñadas para mandar o la esclavitud con reducida capacidad intelectual.

EL PAPEL DE ESPAÑA

La capacidad de los investigadores españoles para participar y desarrollar los grandes avances que puede proporcionar la edición genética queda avalada por la propia peripecia de Martínez Mojica, que hizo sus descubrimientos con los recursos a su alcance en un laboratorio universitario, sin subvenciones y sin mayor respaldo.

El nudo gordiano que hay que cortar es la limitación legal indiscriminada y la orientación del debate ético que debe establecerse, y resolverse, en las instituciones europeas para definir con rotundidad lo que sí se puede (y se debería) hacer.

Las inversiones para orientar investigaciones en el ámbito de la salud, y abrir el campo (nunca mejor dicho) a la demostrada capacidad innovadora del sector agroalimentario, tendrían sin duda un retorno tangible inmediato. •



CON DATOS EN LA MANO

#2 Edición genética

CRISTINA MARTÍNEZ

Hasta hace una década, corregir mutaciones genéticas, insertar genes terapéuticos, eliminar secuencias patógenas del ADN y activar o desactivar genes entraba en el terreno de la ciencia-ficción. Ahora la ficción ha desaparecido y ha quedado la ciencia.

La edición genética llegó para quedarse con técnicas como ZFNs (Zinc Finger Nucleases-nucleasas con dedos de zinc) o TALENs (Transcription Activator-Like Effector Nucleases-nucleasa de actividad similar a activador de transcripción). Pero fue el sistema CRISPR (siglas en inglés de repeticiones palindrómicas cortas agrupadas y regularmente interespaciadas) el que realmente revolucionó y posibilitó la edición genética de cualquier organismo. (Fig. 1)

Denominado *Beakthorough of the Year* por la revista *Science* en 2015 -categoría para los hallazgos más innovadores en el campo de la ciencia-, esta tecnología nos permite utilizar el conocimiento sobre el genoma adquirido en las últimas décadas y modificarlo casi a voluntad. Una posibilidad que hay que controlar, pero imposible de frenar. La tecnología CRISPR, sobre todo en su combinación con la proteína Cas9, revolucionó los laboratorios desde que comenzó a usarse en 2012 para actuar sobre el genoma. Esta herramienta de edición genética ofrece la oportunidad de corregir las alteraciones genéticas responsables de unas 6.000 enfermedades.

Y esto no ha hecho más que empezar. El pasado 21 de octubre se presentaba una nueva herramienta de edición genética que va a dar mucho que hablar en los próximos años, Prime Editing, que mejora sensiblemente la precisión y la eficiencia de CRISPR, al evitar mutaciones indeseadas. En teoría, esta nueva herramienta tendría el potencial de corregir el 89% de las 75.000 variantes genéticas humanas asociadas a enfermedades y abre un nicho de negocio para la-

boratorios, química de materiales, empresas alimenticias y agricultura¹. Esta técnica de edición genética va a cambiar no solo las enfermedades que sufrimos, los medicamentos que tomamos, los cultivos y animales que comemos, sino también cómo somos.

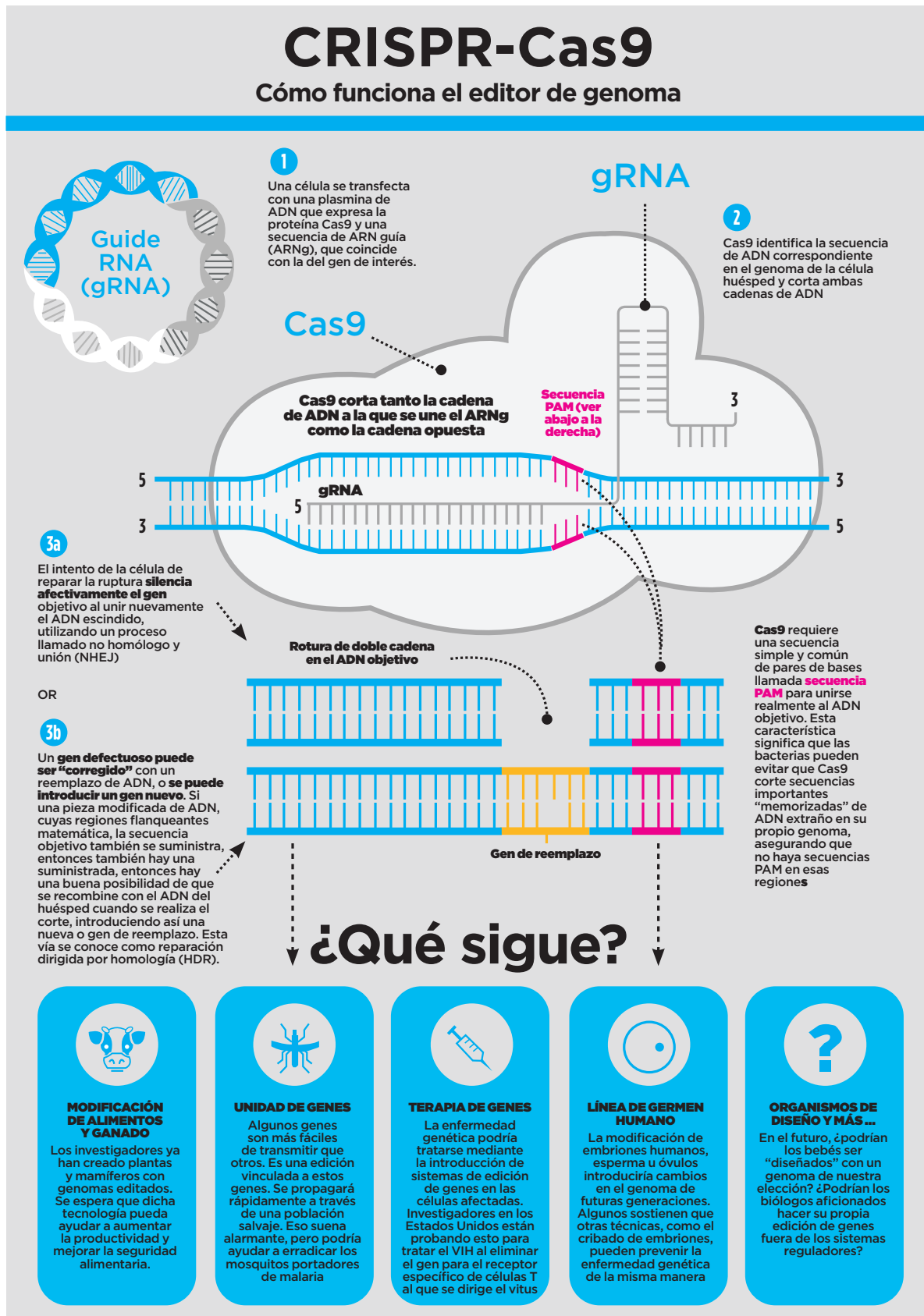
Aunque existían herramientas eficaces para editar genes en las bacterias desde hacía décadas, fue en el año 2000 cuando el profesor de la Universidad de Alicante Francis Mojica constató la existencia de CRISPR en un tercio de todas las bacterias y en 2005 cuando relacionó su existencia con la inmunidad a los virus. Pero el momento de inflexión fue en 2012 cuando Emmanuelle Charpentier y Jennifer Doudna describieron en un artículo, publicado en la prestigiosa revista *Science*, su utilidad para la edición de genes. Seis meses después aparecieron los primeros informes en los que se constataba su eficiencia y a partir de ahí comenzaron los ensayos, al ser una técnica que abarataba los costes respecto a otras herramientas como TALENs o ZFNs. Desde entonces las publicaciones se han multiplicado exponencialmente.

Desde la primera publicación en la que se mencionaba CRISPR en 2002 se ha pasado a cerca de 4.000 registradas en 2018. Entre junio de 2012, cuando se publicó ese primer texto sobre la aplicación de CRISPR, hasta finales de 2018 sumaron alrededor de 10.000 artículos sobre este tema, lo que supone una media de 125 por mes, firmados por más de 54.100 científicos². Tan solo en 2018, fueron cerca de 4.000 las publicaciones sobre este tema registradas en esa plataforma, lo que supone alrededor de 11 artículos por día, cifras que dan una idea del impacto que esta tecnología ha tenido en la ciencia mundial en menos de una década.

¹ Search-and-replace genome editing without double-strand breaks or donor DN. *Nature*, 2019 <https://www.nature.com/articles/s41586-019-1711-4>

² Editing Biosecurity: Needs and Strategies for Governing Genome Editing. 2018 <https://static1.squarespace.com/static/58eaf565197aea9c401e0497/t/5c05209d70a6ad22a0abb98b/1543839915478/Editing-Bio-Report-Final-.pdf>

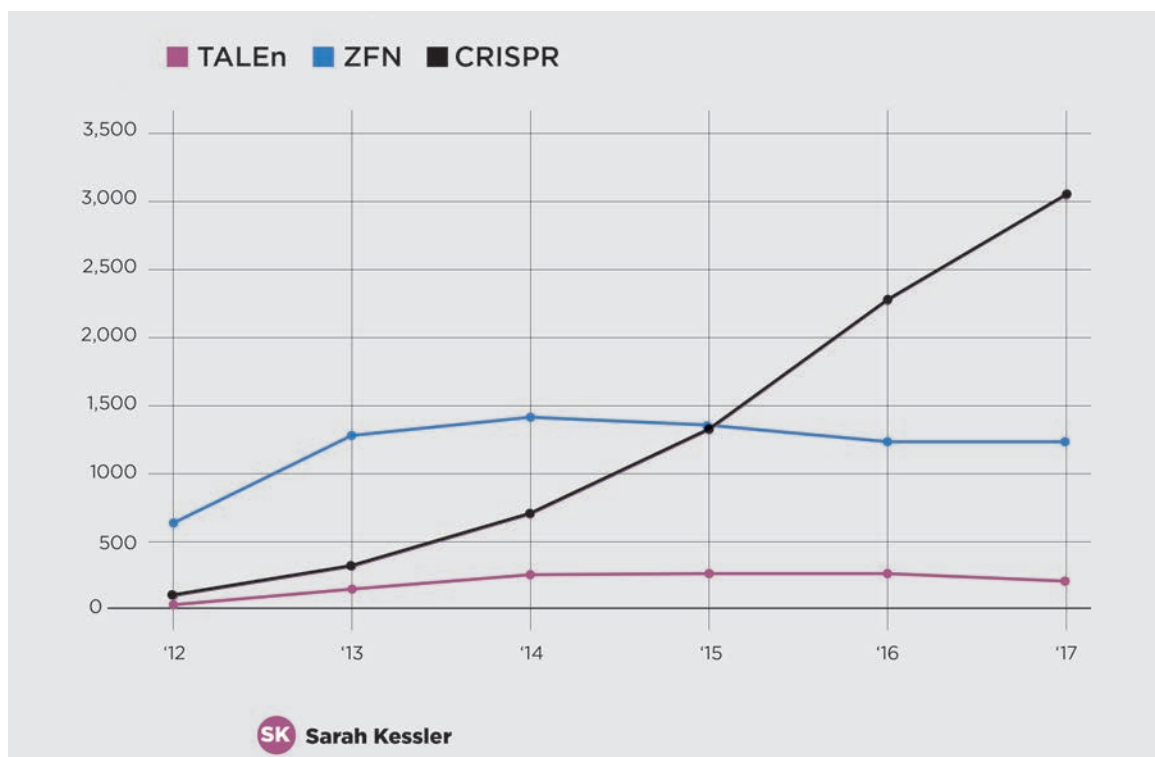
Fig. 1 CÓMO FUNCIONA CRISPR/CAS9



Fuente: J. Levin W.

Fig. 2 PUBLICACIONES SEGÚN TÉCNICAS DE EDICIÓN GENÉTICA

Publicaciones científicas sobre ZFN, TALENs y CRISPR 2012-2017.



Fuente: CRISPR Genome Editing: A Technical Policy Primer

El desarrollo de CRISPR ha conllevado además la bajada o estancamiento de las publicaciones en torno a otras dos herramientas de edición genética (Fig. 2) como son TALENs y ZFN, al decrecer su uso en las investigaciones relacionadas con la edición genética. Mientras los artículos científicos relacionados con el "corta-pegar" genético (nombre coloquial de CRISPR) se incrementaban hasta las 3.000 en 2017, de las otras dos técnicas una no alcanzaba las 300 (TALENs) y la otra, las 1.500 (ZFNs) publicaciones.

APLICACIONES

Las técnicas de edición genética se utilizan principalmente en investigación básica para el estudio de la regulación de genes. En Biomedicina, para la generación de nuevos modelos celulares y animales para la investigación de enfermedades, y en el campo de la biotecnología de plantas, el objetivo se centra en la mejora de la calidad de los cultivos y la generación de resistencias a plagas. También existe una vía de investigación en torno a la biotecnología industrial en la biosíntesis de productos farmacéuticos y biocombustibles. Todas estas alternativas ofrecen

importantes beneficios para el medio ambiente.

Las aplicaciones tanto en biomedicina como en la mejora de la salud humana suponen el 38% y 26%, respectivamente, de las investigaciones realizadas sobre edición genética. Las registradas en avances en agricultura se sitúan en el 25% y las de la industria biotecnológica representan solo el 12%, según datos registrados en 2017. (Fig. 3)

Entre todas las enfermedades que son objeto de investigación con esta técnica, la inmunoterapia contra el cáncer es una de las que mayor interés ha despertado por parte de los investigadores. El objetivo, en este caso, es aprovechar el propio sistema inmunitario del paciente para acabar con las células tumorales. En el futuro, el uso de la tecnología CRISPR/Cas9 para establecer protocolos contra el cáncer promoverá significativamente la investigación de la genómica funcional del cáncer y facilitará el avance de las terapias contra esta patología. La investigación también se centra en combatir enfermedades tan diversas como dolencias cardiovasculares, distrofia muscular, anemia de células falciformes o Alzheimer.

En el terreno de la investigación en animales, los primeros pasos se dieron en 2013, cuando el laboratorio de Rudolf Jaenisch demostró, usando ratones de laboratorio, cómo las herramientas CRISPR/Cas podían usarse para producir ratones con mutaciones específicas en varios genes a la vez, obtenidas simultáneamente. Si antes se tardaba años, ahora se podía conseguir el resultado en un par de meses. Después llegaron experimentos en cerdos para la obtención de células porcinas sin retrovirus endógenos porcinos (PERV) o en ovejas para conseguir aumentar su masa muscular³.

La edición genética se está utilizando también para conseguir mosquitos que impidan la transmisión de enfermedades como el dengue o la malaria, vacas que no tengan cuernos para evitar el costoso y doloroso proceso de descornado, o cerdos resistentes a enfermedades que cada año acaban con la vida de cientos de miles de cabezas de ganado, según un estudio publicado en la revista *Science*⁴. También hay trabajos centrados en la creación de animales cuya leche sea más fácil de digerir para los humanos o carnes que produzcan menos intolerancias.

En el terreno de la agricultura, la edición genética con CRISPR supone una revolución en la industria alimen-

taria -tanto para agricultores como para consumidores-, en el control de plagas y la sequía, y en combatir la hambruna. La aportación fundamental es que no es necesaria la transmisión de genes externos, con lo que CRISPR no genera propiamente OGM (Organismos Genéticamente Modificados), además de ser un sistema más sencillo, económico y rápido.

Se calcula que para el año 2050 habrá que alimentar a 10.000 millones de personas. Por esta razón, la edición genética aplicada al sector agroalimentario está adquiriendo cada vez mayor relevancia. Vegetales enriquecidos con nutrientes con semillas a precios más bajos, trigo con bajo contenido de gluten, un champiñón que no se pone negro cuando se golpea o se corta, soja baja en grasas no saludables o un maíz resistente a la sequía son ya una realidad.

Uno de los caminos a seguir a nivel mundial son las denominadas "fábricas de plantas", entornos apilados verticalmente que se utilizan para producir alimentos. Y es aquí donde aparece la edición genética puesto que las semillas no son las mismas que en la agricultura tradicional. De hecho, se espera que el mercado agrícola vertical se expanda en un 25% para 2024, hasta alcanzar un valor de €11.400 millones⁵.

3 La revolución CRISPR también en la granja. Profesión Veterinaria. Colegio Oficial de Veterinarios de Madrid, 2016. http://www.user.cnb.csic.es/~montoliu/CRISPR_Veterinarios_Madrid.pdf

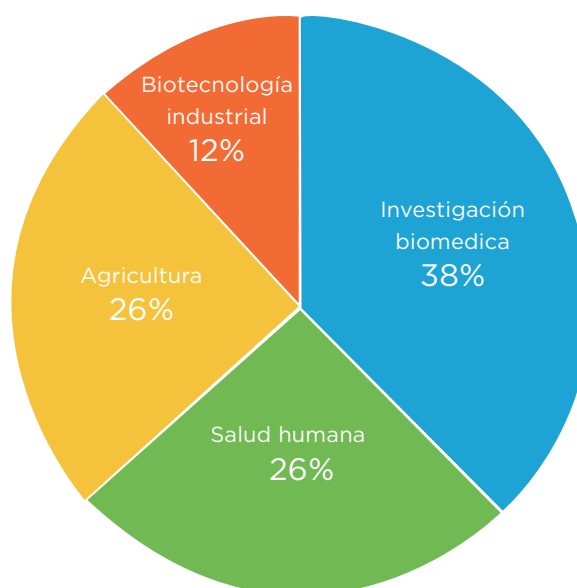
4 Genetically engineered mosquitoes resist spreading any form of dengue. Science, 2020 <https://www.sciencemag.org/news/2020/01/genetically-engineered-mosquitoes-resist-spreading-any-form-dengue>

5 Vertical farms of the future require genetically edited plants. Foodnavigator.com, 2020 <https://www.foodnavigator.com/Article/2020/01/22/Vertical-farms-of-the-future-require-genetically-edited-plants-says-scientist#>

Fig. 3 APLICACIONES DE LA EDICIÓN GENÉTICA

Porcentajes en la aplicación a biomedicina y salud, agricultura e industria biotecnológica.

Gráfico basado en datos en Brinegar K, Yetisen AK, Choi S, Vallillo E, et al. La comercialización de las tecnologías de edición del genoma. *Critical Reviews in Biotechnology*, 2017. Noviembre; 37 (7): 924-932 .DOI: 10.1080/07388551.2016.1271768



Fuente: Critical Reviews in Biotechnology

Dentro de la edición genética en agricultura, cada vez adquiere mayor peso su aplicación contra la crisis climática. CRISPR tiene el potencial de reducir las emisiones de CO₂ producidas por la agricultura y producir cultivos más resistentes al cambio climático. De la misma forma, la edición genética mediante CRISPR/Cas9 permite desarrollar plantas que toleren mejor los terrenos áridos, pobres en nutrientes o que sean capaces de generar su propio nitrógeno o absorber más carbono de la atmósfera.

Sin embargo, Europa queda de momento fuera de esta carrera tecnológica ya que la legislación de la UE equipara los OGM con los alimentos producto de la edición genética con CRISPR, algo que no ocurre en EE UU, Argentina, Brasil o Chile, y desde el año pasado tampoco en Australia y Rusia, que han flexibilizado sus legislaciones.

ENSAYOS CLÍNICOS

Resulta complicado definir con exactitud cuál fue el primer ensayo clínico realizado con CRISPR. Pero el último hasta el momento se conoce bien y es muy relevante. Se centra en la neumonía provocada por el coronavirus, que comenzó el 14 de febrero de este mismo año⁶ y que se está desarrollando en China. Una muestra más de la importancia de esta herramienta para la búsqueda de solución a enfermedades.

Los ensayos clínicos de tratamientos en los que se usa CRISPR desde 2017 hasta la actualidad son ya una veintena, tal como recoge el International Clinical Trials Registry Platform. De ellos, 12 se realizan en China, 5 en Estados Unidos, 1 en Australia, 1 entre Australia y EE UU, 1 en el que colaboran Australia, Canadá, Alemania y EE UU, 1 con la participación de Bélgica, Canadá, Alemania, Italia y EE UU, y 1 entre Canadá, Alemania, Grecia, Italia, Gran Bretaña y Estados Unidos.

A finales de 2018, China aprobó ensayos clínicos en los que se utiliza CRISPR/Cas9 con la participación de 300 pacientes para tratar una variedad de trastornos. Científicos de este país también están usando la técnica para tratar a 86 pacientes que sufren cáncer y VIH⁷.

También Prime Editing empieza a dar sus frutos. La revista *Nature* recogía el pasado octubre los resultados de 175 ediciones genéticas en células humanas realizadas con esta nueva técnica. Estos ensayos buscan corregir las principales causas genéticas de la enfermedad de células falciformes, que requieren una conversión en Hemoglobina Subunidad Beta (HBB), y la enfermedad de Tay-Sachs, que requiere una eliminación en Hexosaminidasa Subunidad Alpha (HEXA)⁸.

La revista *Science* daba cuenta en febrero de un ensayo clínico en EE UU de fase 1 (diseñado para evaluar la seguridad y la viabilidad) sobre los primeros pacientes con cáncer tratados con células T modificadas con CRISPR/Cas9. Los hallazgos representan un avance importante en la aplicación terapéutica de la edición de genes y destacan el potencial para acelerar el desarrollo de terapias basadas en células⁹.

En marzo se publicaba la noticia de que un equipo estadounidense había inyectado por primera vez la herramienta CRISPR/Cas9 en el cuerpo humano, en el ensayo de un tratamiento contra la amaurosis congénita de Leber, principal causa de ceguera infantil¹⁰. Hasta ahora se habían realizado ensayos clínicos con esta técnica *ex vivo*, pero nunca directamente sobre el paciente. Un paso más en esta carrera de fondo en la cura de las enfermedades genéticas heredadas.

Pero no es solo en los laboratorios donde se realizan investigaciones en torno a la edición genética. Su aplicación se estudia de forma activa en numerosos centros de todo el mundo, aunque todavía no se haya iniciado su desarrollo clínico¹¹. La mayoría de estos estudios se realizan en Estados Unidos (54%), seguido por China (19,1%), mientras España suma apenas un 3%. Un 48% de esos estudios se realiza en

8 Search-and-replace genome editing without double-strand breaks or donor DNA. NATURE, 2019. https://www.nature.com/articles/s41586-019-1711-4.epdf?referrer_access_token=xb6lApK3Q7ITIXEhX_CxPdRgN0jAJWl9jnR3ZoTv0MlpOYz60Tjc-ynNjiVRY3OHXQZoL87kNBM7

9 Knocking out barriers to engineered cell activity. Science, 2020 <https://science.sciencemag.org/content/367/6481/976>

10 CRISPR treatment inserted directly into the body for first time. Nature, 2020 <https://www.nature.com/articles/d41586-020-00655-8>

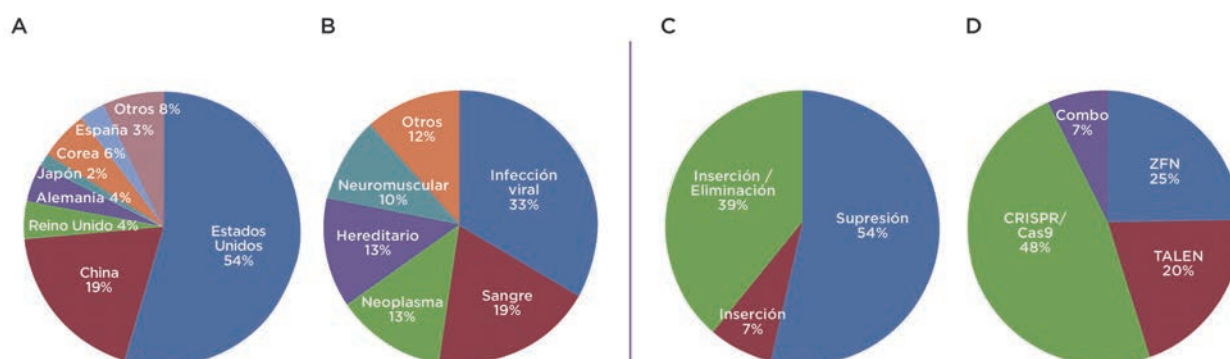
11 Therapeutic gene editing: Delivery and regulatory perspectives. Acta Pharmacologica Sinica, 2017 https://www.researchgate.net/publication/315928767_Therapeutic_gene_editing_Delivery_and_regulatory_perspectives

6 International Clinical Trials Registry Platform (ICTRP), 2020 <http://apps.who.int/trialsearch/default.aspx>

7 BBC <https://www.bbc.com/mundo/noticias-46003592>

Fig. 4 ESTUDIOS SOBRE EDICIÓN GENÉTICA FUERA DE LABORATORIO

Estudios no clínicos sobre edición genética, según países, enfermedades, tipo de edición y herramienta utilizada.



Fuente: Acta Pharmacologica Sinica

torno a la herramienta CRISPR/Cas9, mientras ZFNs suma un 25% y TALENs, un 20%. Las infecciones virales y las relacionadas con la sangre centran estos trabajos, con un 33 y un 19%, respectivamente. (Fig. 4)

INVERSIONES Y MERCADO

El sector de la biotecnología está en auge en los países desarrollados y en vías de desarrollo ya que supone una oportunidad de negocio para sus empresas y una ventaja competitiva para su economía. Tanto es así que las previsiones para 2024 apuntan a que la biotecnología constituirá el 31% del mercado global de la salud, según la *Perspectiva Global de Ciencias de la Vida 2019* de Deloitte.

De hecho, muchas de las principales empresas del sector ya cotizan en bolsa. En Europa, en el primer semestre de 2016, las empresas biotecnológicas registraron 211 millones de euros de recaudación en su salida a bolsa, cifra que se incrementó hasta los 699 millones de euros en la primera mitad de 2018¹².

Si en 2017 el mercado mundial de la edición genética (herramientas de edición, patentes, producción, investigadores...) supuso 3.000 millones de dólares, las estimaciones lo sitúan en 7.500 millones en 2024, con un crecimiento del 14% anual. De ellos, la tecnología CRISPR supondrá 3.000 millones (un 40%),

sobre todo en el desarrollo de aplicaciones en biotecnología y medicina, al ser una técnica más barata, precisa y eficiente. En las aplicaciones en oncología, el incremento anual se sitúa en el 16%; en el segmento de la industria de edición genética animal tuvo un valor de 785,4 millones en 2017 y también se estima que siga experimentando crecimiento hasta 2024, mientras que en lo referente a la ingeniería genética de plantas experimentará en ese período un 14.8% de incremento anual¹³.

La inversión en edición genética la lidera -y lo seguirá haciendo en el futuro- Estados Unidos. Le sigue Europa y Asia, principalmente China, seguida por Japón, India y Corea del Sur (Fig. 5). Los factores clave que impulsan el crecimiento del mercado dependen del aumento de la financiación de los gobiernos y el incremento en el número de proyectos sobre genómica. Pero también de la incidencia de enfermedades infecciosas y cáncer, de los avances tecnológicos, del aumento de la producción de cultivos editados genéticamente y de las crecientes áreas de aplicación de la genómica.

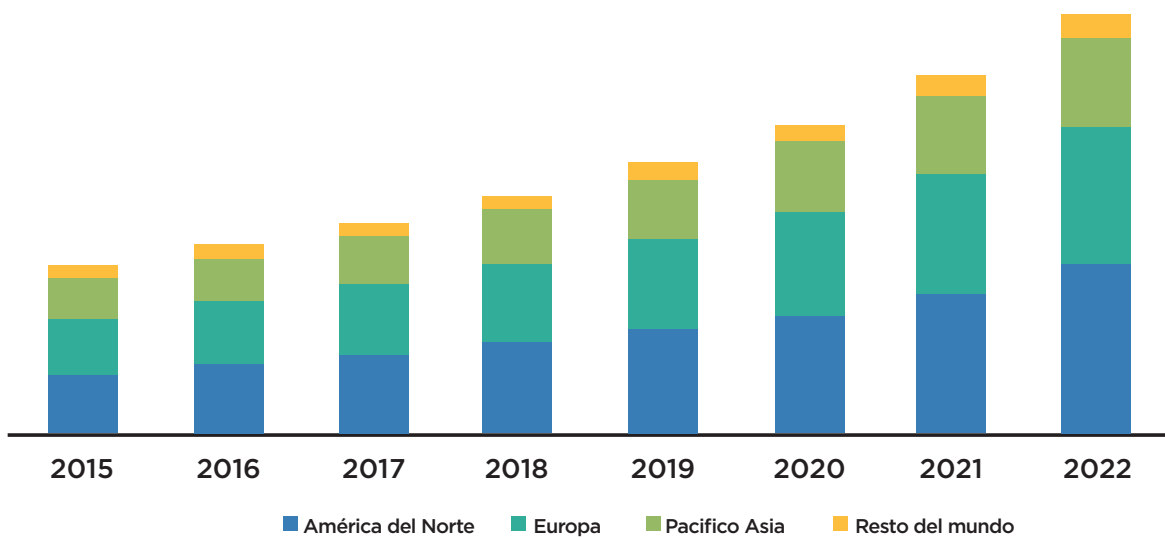
En cuanto al mercado de herramientas de edición genética para la realización de estas investigaciones, supuso más de 258 millones de dólares en 2018 y las previsiones apuntan a que la tasa de crecimiento anual hasta 2029 supere el 18%, según un informe

¹² ¿Qué hay de nuevo en el mercado europeo de biotecnología? Labiotech.eu, 2019
<https://www.labiotech.eu/sponsored/european-biotech-market-stock-exchange/>

¹³ Global Genome Editing Market size. Global Market Insights. Enero, 2019.
<https://www.gminsights.com/pressrelease/gene-editing-market>

Fig. 5 **MERCADO GLOBAL DE EDICIÓN GENÉTICA, 2015-2022**

Estimación del crecimiento por zonas.



Fuente: Investor Presentation, Secondary Literature, Expert Interviews and MarketsandMarkets Analysis

de Future Market Insights¹⁴. Una de las principales causas de este incremento en la demanda de estas tecnologías genéticas se encuentra en la incidencia de enfermedades como el cáncer o el alzhéimer, además de dolencias cardíacas, diabetes o diferentes alteraciones genéticas sobre las que pueden tener aplicación. Sin olvidar el creciente mercado en el sector agrícola y también en las terapias para animales. Y entre las diferentes herramientas de edición genética, en términos de mercado, la clasificación lo encabeza CRISPR/Cas9 que representó alrededor del 75% de los ingresos en 2018.

EE UU lidera el mercado de técnicas de edición genética con un 25% del total, seguido por Europa, y después por China, India y Japón, que son las potencias emergentes en este campo. Precisamente Japón es el país que a más velocidad está afrontando este crecimiento, con una tasa anual estimada en un 6% entre 2018 y 2025.

CUESTIONES ÉTICAS Y PATENTES

El anuncio en noviembre de 2018 del nacimiento de gemelas genéticamente modificadas en China, catalo-

gados como los primeros “bebés de diseño” del mundo, provocó una protesta inmediata en la comunidad científica. El científico chino He Jianku cambió los genomas de las gemelas, mediante la tecnología CRISPR, con el objetivo de que los bebés fueran más resistentes al VIH, pero no contó con que con esa mutación podría recortar significativamente su esperanza de vida además de provocar efectos aún desconocidos. Jianku fue condenado en su país el pasado mes de noviembre a tres años de cárcel al considerar que su acción supone una violación de la legislación, cruzando las líneas rojas de la ética en la investigación científica y la medicina.

A raíz de este experimento, la Comisión Internacional sobre el Uso Clínico de la Edición del Genoma de la Línea Germinal Humana está trabajando en pautas más estrictas y menos ambiguas para las investigaciones de embriones humanos.

La investigación de la edición genética ha puesto sobre la mesa los problemas éticos en lo referente, sobre todo, a la manipulación de embriones humanos y son ya una treintena de países los que tienen una legislación que prohíbe directa o indirectamente todos los usos clínicos de esta práctica.

En enero de 2019, el Comité de Bioética de España (CBE) se pronunció en contra de la edición genética de embriones humanos y destacó cómo, más allá de las

¹⁴ Gene Editing Tools Market. Future Market Insights, 2019
<https://www.fmiiblog.com/gene-editing-tools-market>

dudas éticas que plantean, la técnica CRISPR/Cas9 no ha superado aún el nivel de seguridad necesario para su uso clínico en humanos. La OMS aprobó en agosto la obligación de realizar un registro de las investigaciones realizadas con edición genética y el pasado mes de marzo, la comunidad científica de siete países pedía una moratoria de cinco años para este tipo de aplicaciones cuando se llevan a la fase clínica, dado el peligro de seguridad que plantean y sus consecuencias para el ser humano como especie¹⁵.

Dentro de esta regulación ética se contempla también el mercado de patentes. El Parlamento Europeo y el Consejo Europeo aprobaron una directiva sobre la protección legal de las aplicaciones biotecnológicas, válido en todos los países de la Unión Europea y los 38 países miembros de la Oficina Europea de Patentes. El texto aborda también las implicaciones morales y socioeconómicas de quienes obtengan las patentes para trabajar con embriones humanos o plantas y animales.

El año pasado, las academias nacionales de ciencia, ingeniería y medicina de EEUU recomendaron que los ensayos clínicos que incluyan la edición de genes en óvulos, espermatozoides o embriones humanos solo se permitan para el tratamiento y la prevención de enfermedades o discapacidades graves. También instaron a que se desarrolle un sistema de “supervisión estricta” para limitar el uso de la tecnología en este contexto¹⁶.

En la actualidad, el uso de CRISPR está restringido a solo tres campos principales: investigación no comercial; desarrollo de kits de herramientas, reactivos y equipos relacionados con la edición de genes basada en CRISPR, y desarrollo, venta y uso de terapias usando CRISPR. Las patentes existentes relacionadas con esta técnica son amplias y cubren una variedad de diferentes tipos de edición de genes, pero ninguna de ellas otorga un derecho exclusivo a su propietario para explotar y comercializar la tecnología.

De hecho, cientos de instituciones, empresas e investigadores han presentado más de 1.700 patentes y cada mes se publican alrededor de 100 nuevas familias de patentes.

Las compañías líderes en este terreno son las estadounidenses CRISPR Therapeutics, Editas Medicine e Intellia Therapeutics, que tienen una capitalización de mercado combinada de 5.000 millones de dólares (4.400 millones de euros) y su financiación total supera los 400 millones de dólares (353 millones de euros), a pesar del conflicto de patentes por los derechos de esta herramienta que comenzó en 2012 y aún continúa¹⁷.

La batalla legal entre Broad y la Universidad de California (UC) sobre la propiedad intelectual relacionada con CRISPR se prolonga hasta la actualidad. Las patentes cubren el uso del sistema CRISPR/Cas9 para la edición de genes en células eucariotas, por lo que la Oficina de Patentes y Marcas de los Estados Unidos (USPTO) le otorgó al Broad una patente fundamental en 2014. En ese momento, UC solicitó una audiencia por injerencia, alegando que la patente de Broad se solapa con una que UC, la Universidad de Viena y Emmanuelle Charpentier (anteriormente en la Universidad de Viena) habían presentado dos años antes.

La USPTO inicialmente se pronunció a favor de Broad, declarando que no hubo injerencia, pero en junio pasado revocaba su propia decisión al publicar documentos que demuestran su existencia¹⁸.

De esta manera, la USPTO y la Oficina Europea de Patentes (EPO) han otorgado 34 patentes a Broad y 10 patentes a UC. Ambas instituciones también poseen patentes en otras partes del mundo, incluidas Australia, Japón y China. (La reciente decisión de injerencia de la USPTO se aplica a 13 patentes y una solicitud de patente en Broad y 10 solicitudes de patente en UC).

Pero Broad y UC no son los únicos que han adquirido licencias sobre la tecnología CRISPR. Muchas otras instituciones académicas y compañías de biotecnología también poseen propiedad intelectual relacionada con esta técnica de edición genética. Según los datos recopilados por la firma de consultoría IPStudies (Figura 6), con sede en Suiza, se han presentado más de 12.000 solicitudes de patentes CRISPR en todo el mundo, que se dividen en aproximadamente

¹⁵ Adopt a moratorium on heritable genome editing. Nature, 2019
<https://www.nature.com/articles/d41586-019-00726-5>

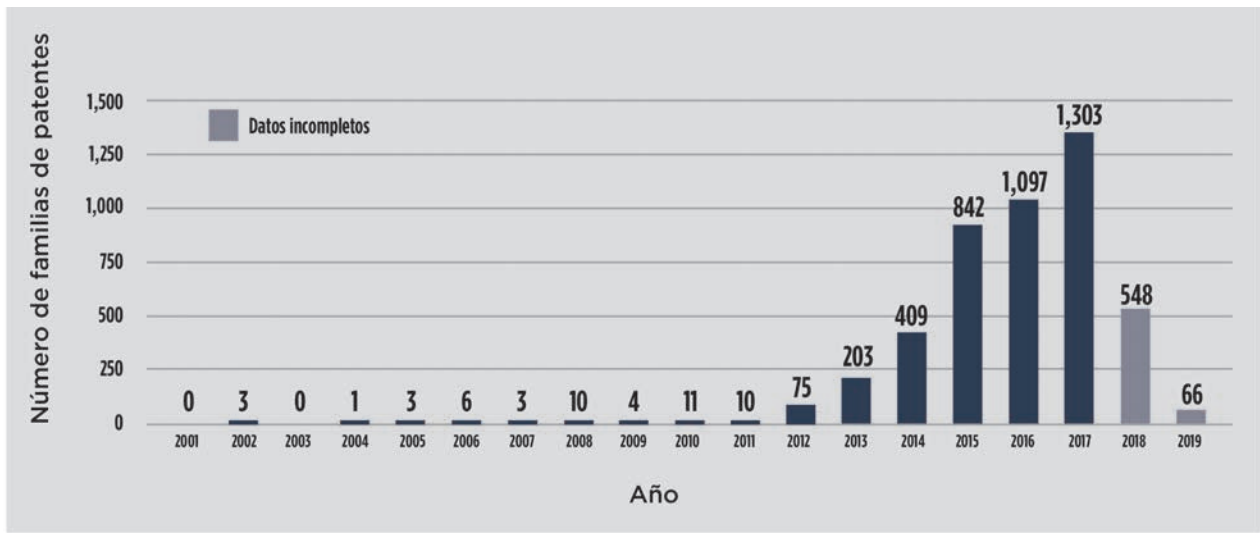
¹⁶ Use the patent system to regulate gene editing. Nature, 2018
<https://www.nature.com/articles/d41586-018-07108-3>

¹⁷ CRISPR: One Patent to Rule Them All. labiotech.eu, 2019
<https://www.labiotech.eu/features/crispr-patent-dispute-licensing/>

¹⁸ USPTO Restarts CRISPR Patent Dispute Between Broad and UC. The Scientist, 2019
<https://www.the-scientist.com/news-opinion/uspto-restarts-crispr-patent-dispute-between-broad-and-uc-66050>

Fig. 6 SOLICITUDES DE PATENTES CRISPR EN EL MUNDO

Número de solicitudes de nuevas familias de patentes presentadas en todo el mundo. Los datos de 2018 y 2019 están incompletos por retraso en la publicación de EE UU.



Fuente: IPStudies

en 4.600 familias de patentes distintas. Además de Broad y UC, las instituciones con solicitudes que pertenecen al mayor número de familias de patentes son la Academia de Ciencias de China, la compañía química estadounidense DuPont y la compañía de edición del genoma con sede en Massachusetts Editas Medicine, cofundadas a su vez por miembros de Broad y Equipos de UC, entre otros. De estas miles de solicitudes de patentes, se han otorgado más de 740 hasta la fecha y más de la mitad de ellas en solo dos países, China y los Estados Unidos¹⁹.

PRESENTE Y FUTURO EN ESPAÑA

Un equipo integrado por los investigadores Anna Veiga, Montse Boada y Ángel Raya (Idibell y Dexeus Mujer) recibió a principios de diciembre de 2019 la autorización de la Comisión Nacional de Reproducción Humana Asistida para la edición genética de embriones humanos. Esto no significa que se vayan a implantar los embriones humanos editados en una mujer para que sea madre, algo que sería ilegal. El objetivo es conocer mejor las fases iniciales del desarrollo de los embriones humanos, previas a la implantación en el útero. Y esto sí lo recoge la legislación española (tanto la Ley 14/2006 de técnicas de reproducción humana asistida, como la Ley

14/2007 de investigación biomédica) que permite el uso de embriones humanos sobrantes de Fecundación *In Vitro* (FIV) con fines de investigación, con unos requisitos determinados y tras haber obtenido los permisos correspondientes²⁰.

Esto demuestra las posibilidades que se abren para España en un contexto en el que el liderazgo lo lleva asumiendo Estados Unidos durante los últimos años. Nuestro país ha registrado hasta mediados de marzo de este año un total de 24.139 ensayos médicos en total que incluyen diferentes técnicas y objetivos, colocando a España en los primeros puestos del campo de los ensayos médicos, un área liderada por Estados Unidos (141.000), Japón (47.870) y China (más de 46.668)²¹.

De hecho, la inversión en ensayos clínicos realizada en España por las compañías farmacéuticas ha pasado de 299 millones en 2005 hasta los 662 millones en 2017, lo que representa un incremento sostenido anual del 7%, según los últimos datos del Proyecto BEST. La Agencia Española del Medicamento cerró 2019 con 309 autorizaciones de ensayos clínicos para cáncer y tres de cada diez ensayos clínicos realizados

19 A Brief Guide to the Current CRISPR Landscape. The Scientist, 2019 <https://www.the-scientist.com/news-opinion/a-brief-guide-to-the-current-crispr-landscape--66128>

20 Autorizada la edición genética de embriones humanos para fines de investigación científica. montoliu.naukas.com, 2020 <https://montoliu.naukas.com/2020/02/11/>

21 International Clinical Trials Registry Platform (ICTRP), 2020 <http://apps.who.int/trialsearch/ListBy.aspx?TypeListing=1>

en Europa cuentan ya con participación española después de que España se convirtiese en el primer país europeo en incorporar a su legislación el nuevo reglamento comunitario sobre ensayos clínicos²².

Dentro de este *puzzle*, la edición genética supone una excelente oportunidad para España, tanto desde el punto de vista sanitario como económico. CRISPR, una técnica que fue descubierta en nuestro país, es clave para el mantenimiento del talento de los investigadores en nuestro país, que se encuentran dentro de la élite mundial; el aumento de contrataciones en el mercado laboral de profesiones relacionadas con este sector y el surgimiento de una industria de alto valor añadido. A eso se añaden las grandes oportunidades que las técnicas de edición genética ofrecen a la mejora de nuestra agricultura y nuestro medio ambiente, ambos clave para el futuro de España. Todo esto requerirá un cambio en el tejido empresarial que sea capaz de asumir los avances tecnológicos, la definición de nuevos puestos de trabajo y una política de inversiones, públicas y privadas²³.

Las oportunidades en el mercado laboral son ya un hecho en potencias como EE UU o Gran Bretaña. La Oficina de Estadísticas Laborales de EE UU clasificó a los ingenieros genéticos como uno de los 20 sectores de trabajo de mayor crecimiento. Esto supone una oportunidad de trabajos disponibles para los especialistas que podrán interpretar información genética, brindar apoyo y asesoramiento al personal médico y dirigir a los pacientes a través de las decisiones que deberán tomar. Los empleos en este campo aumentarán en un 29% en 2026, según estas estimaciones.

Este organismo, recoge que para 2030 habrá un aumento del 7% en empleos para ingeniería biomédica y un aumento del 13% en científicos médicos, con unos 17.500 empleos en total. El gobierno del Reino Unido, por su parte, espera que para 2030 solo en Gran Bretaña, podría haber más de 18.000 nuevos empleos creados por la terapia génica y celular²⁴.

Pero existe un aspecto en el que España choca contra un muro. El Tribunal Europeo de Justicia sentenció en julio de 2018 que los organismos modificados genéticamente son equivalentes a los transgénicos (OMG), una conclusión que, sin embargo, no comparten las legislaciones de otros países y que deja a España fuera de juego, al someter estas investigaciones al mismo proceso complejo, costoso y largo de aprobación que los Organismos Modificados Genéticamente. También excluye a nuestro país de una herramienta fundamental para generar productos mejorados para el consumo humano, pero también para crear una agricultura sostenible, en la lucha contra la sequía y el cambio climático.

El pasado año, científicos de 127 institutos de investigación de toda Europa que agrupan a unos 25.000 investigadores exigieron a las autoridades de la UE un cambio urgente de la legislación sobre los OMG. En una carta abierta dirigida al Parlamento Europeo, la Comisión Europea y el Consejo, los científicos alertaban de que la actual regulación deja a Europa fuera de juego ante la posibilidad de diseñar nuevas variedades vegetales usando CRISPR. Ahora, la Comisión Europea planea crear una legislación específica para facilitar la producción de cultivos editados genéticamente, a través de un “nuevo marco adecuado a las nuevas técnicas genómicas”, según aparece en el borrador del Plan de Acción sobre Alimentación.

Un aspecto a destacar es que la investigación en lo referente a edición genética cuenta en España con un entorno favorable a nivel social en un contexto en el que las cuestiones éticas pesan, y mucho, a nivel mundial. Según un estudio de la Fundación BBVA²⁵, los españoles son los europeos más favorables a realizar investigaciones que supongan algún tipo de modificación genética.

Los españoles, junto a los británicos, son los ciudadanos de Europa que mejor valoran la ciencia como herramienta para mejorar la salud (8 sobre 10), y junto a los franceses lideran el ranking también al concebir la ciencia como motor del progreso material (7,2 sobre 10). Asimismo, el 68% de los encuestados considera que la biotecnología mejorará nuestras vidas y el 67% cree que también lo hará la ingeniería genética.

22 España se sitúa a la cabeza de Europa en ensayos de fármacos. El Economista, 2019
<https://www.eleconomista.es/sanidad/noticias/9853897/05/19/>

23 España tarda diez años en recuperar los niveles de inversión en I+D previos a la crisis. Fundación Cotec para la Innovación, 2019
<https://cotec.es/datos-ine-id-2019/>

24 Genetic Engineering Jobs for Gene Editing and Cell Therapy will Increase until 2026. University Herald, 2019
<https://www.universityherald.com/articles/77081/20191217/genetic-engineer-jobs-gene-editing-cell-therapy-will-increase-until.htm>

25 Estudio Europeo de Valores. Fundación BBVA, 2019.
https://www.fbbva.es/wp-content/uploads/2020/01/Presentacion_Estudio_Valores_Esfera_Privada_2019_Ciencia_Naturaleza.pdf

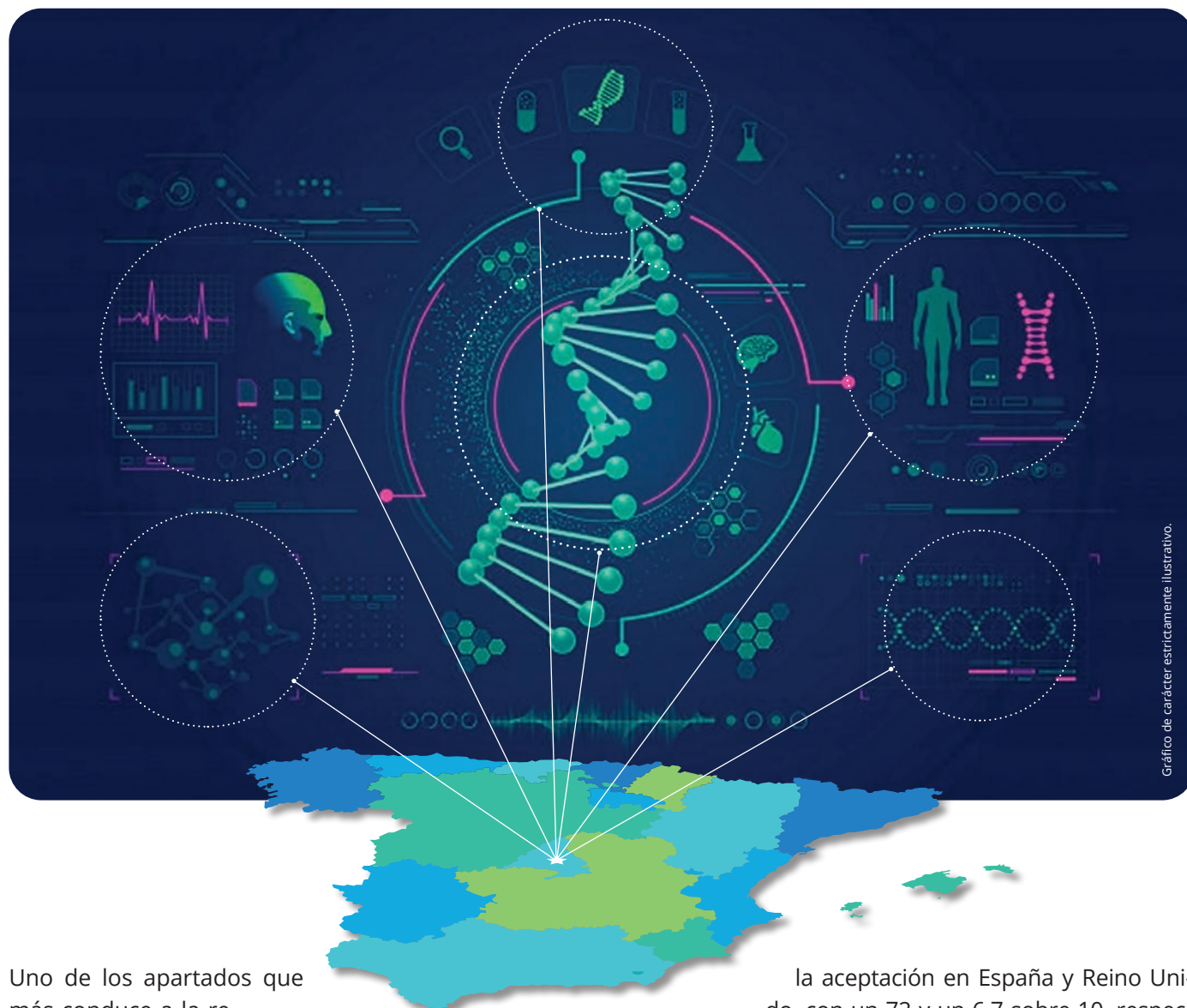


Gráfico de carácter estrictamente ilustrativo.

Uno de los apartados que más conduce a la reflexión es el que recoge los resultados sobre la investigación con embriones. Si bien predomina el rechazo en la mayoría de los segmentos, se acentúa sin embargo entre quienes tienen una visión del embrión como dotado de una condición moral más próxima a la de un ser humano y, más aún, entre los que creen que tiene la misma condición moral. Entre los que creen que es un conjunto de células, se aprueba su uso en España, Reino Unido e Italia. Y entre quienes consideran que su condición moral está a medio camino entre un ser humano y un conjunto de células, sólo supera el umbral de aceptación en Reino Unido.

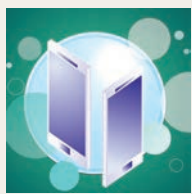
Los fines también condicionan la aceptación de la edición genética de embriones: mientras que resulta ampliamente aceptada, salvo en Alemania, para evitar la transmisión de enfermedades hereditarias (destacando

la aceptación en España y Reino Unido, con un 72 y un 6,7 sobre 10, respectivamente), es ampliamente rechazada en todos los países en un hipotético uso para aumentar las capacidades mentales y, más aún, para modificar las características físicas.

España afronta así el reto de no quedarse a la zaga del resto de países de la UE y de valorar al sector científico, evitando la fuga del talento investigador. Al mismo tiempo, tendrá que abordar la financiación y la creación de una sólida industria alrededor de la edición genética, que marcará el futuro del mercado laboral y su contribución a objetivos tan globales como la salud o la lucha contra el cambio climático. CRISPR comenzó en España. No sería comprensible que la explotación de esta técnica quede en el futuro en manos de otros países, cuando el talento de nuestros científicos está demostrado y es valorado en todo el mundo. Sin olvidar que es clave para la competitividad de nuestra economía. •

Capítulo **3** **SEGURIDAD** D I G I T A L





3 SEGURIDAD DIGITAL

Comunicación y seguridad digital Teoría de números y aplicaciones criptográficas

JULIO MIRAVALLS

La criptografía nació con el fin de asegurar la comunicación confidencial entre dos sujetos, sin que terceros fueran capaces de conocer el contenido del mensaje, incluso aunque tuvieran acceso a él, enmascarándolo mediante claves secretas sólo conocidas por los dos interlocutores legítimos.

Se identifican formas primitivas de criptografía con 25 siglos de antigüedad, usadas en la guerra, para enviar mensajes que, aunque fuera capturado su portador, no podían ser descifrados por el enemigo. El procedimiento básico de encriptación consiste en reemplazar los caracteres que componen un mensaje por otros códigos que lo hacen ininteligible sin conocer la clave de sustitución.

La vieja criptografía, utilizada también en la política y en operaciones comerciales desde tiempos antiguos, podía apoyarse en codificaciones preestablecidos, o en artefactos singulares, compartidos por emisor y receptor del mensaje y utilizados para encriptar y desencriptarlo. La evolución ha llevado a una criptografía moderna que usa las tecnologías digitales y está completamente sustentada por las matemáticas.

En un mundo interconectado y dominado por internet, las comunicaciones privadas a través de correo electrónico y aplicaciones de mensajería instantánea, las transacciones comerciales y la comunicación de los ciudadanos con las administraciones se basan en la confianza de que el vehículo digital que las transporta preserva la privacidad del mensaje. O que, si es interceptado, como podía ocurrir en el caso del antiguo mensajero, el contenido permanecerá a salvo de ojos indiscretos.

Para ello se usan contraseñas de identificación que creemos seguras, aunque de tanto en tanto, demuestran no serlo, por la capacidad de los *hackers* para desen- trañarlas, por falta de seguridad en la custodia de entida- des con las que se mantiene una comu- nicación, o incluso por la venta fraudu- lenta.

La teoría de núme- ros lleva al menos 40 años proponien- do métodos más se- guros para establecer las claves de seguridad que la improvisación individual. En el año 1979 tres pro- fesores del MIT, Ron Rivest, Adi Shamir y Leonard Adleman, crearon el algoritmo RSA de clave pública. Las siglas que lo denominan son las iniciales de sus apellidos.



El algoritmo RSA está basado en la descomposición de un número en sus factores primos. Desde entonces la criptografía se ha pasado a métodos más sofisticados como las curvas elípticas, pasando antes por el sistema de logaritmo discreto de ElGamal.

La seguridad del mecanismo RSA, como en los ejemplos de antigua criptografía citados, se basa en que sólo los extremos de la comunicación deben tener acceso a los números primos en los que se basa la codificación del mensaje. De hecho, sólo el receptor del mensaje gestiona las dos claves que se utilizan en la operación, una privada y otra pública. Con la clave pública, compartida con el emisor, se encripta para su transporte el mensaje, que ya sólo puede ser descifrado después con la clave privada del receptor. Ni siquiera el emisor puede hacerlo. Los números primos utilizados son elegidos de manera aleatoria y las claves tienden a ser extremadamente largas. Difíciles de manejar.

El sistema de ElGamal, publicado por Taher ElGamal en 1984, se basa en el problema matemático de calcular el logaritmo discreto de un número primo, elegido aleatoriamente, con el que se genera la clave de cifrado.

La criptografía asimétrica de curvas elípticas (ECC), propuesta en 1985 por dos matemáticos que trabajaban por separado (Neal Koblitz y Victor Miller), aplica un modo de operar similar a RSA, con una clave pública para el intercambio del mensaje y otra privada para descifrarlo. Pero en este caso, la encriptación se basa en un procedimiento matemático para definir mediante una ecuación tres puntos, que son coordinadas en números enteros, de una curva definida sobre

un cuerpo finito (el tercer punto es la suma de los dos primeros). La clave se establece con el logaritmo discreto en curvas elípticas del tercer punto. Es más corta que las que producen los métodos anteriores, aunque también extremadamente difícil de desentrañar.

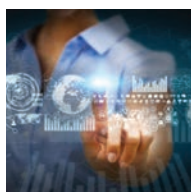
EL PAPEL DE ESPAÑA

El nuevo mundo digital es un territorio de insospechadas oportunidades y posibilidades económicas, a la vez que una amenaza para las vidas privadas de los individuos y la seguridad de la sociedad. Conjuguar ambos aspectos crea una industria de ciberseguridad y una necesidad y oportunidad complementaria para el desarrollo de todas las restantes actividades digitalizadas.

La seguridad, basada en el conocimiento y en la tecnología, es un elemento en continua evolución, para el que en el futuro aparece como una amenaza, y a la vez una esperanza, la computación cuántica.

Las tecnologías presentes en la seguridad están basadas en matemáticas, un bien de los que se denominan a veces 'bien público de club': un teorema, una vez demostrado, puede ser usado por cualquiera. Aunque, para hacerlo, hace falta una preparación.

Ahí reside la oportunidad: desarrollar tecnología en seguridad y criptografía. Hay campo para la inversión pública y para iniciativas privadas corporativas y de emprendimiento. España, con jóvenes bien formados en matemáticas, puede conseguir un desarrollo tecnológico importante en una actividad que, fundamentalmente, precisa de materia gris. •



CON DATOS EN LA MANO

#3 Seguridad digital y criptografía

ANDRÉS VALDÉS

Si la digitalización es la expansión virtual de las actividades de una organización, la ciberseguridad es el techo y las paredes que cubren esas nuevas superficies. Lo que ocurre ahí dentro simplemente no puede quedar expuesto y es necesario proteger, con diferentes niveles y capas de seguridad, el funcionamiento ordinario de empresas, administraciones y hogares. La arquitectura física de nuestro mundo tiene traducción informática: Fabricantes de muros, puertas y llaves, así como los delincuentes que se dedican a violarlos, tienen homólogos virtuales.

El valor del mercado global de ciberseguridad ronda los 133.000 millones de dólares, pero, en el futuro cercano, la demanda de tecnología para protegerse de cibertales estará cerca de duplicar esta cifra, con una facturación de 244.400 millones en 2024¹. La mayor confianza en la digitalización, y dependencia, de las empresas, así como las cada vez más exigentes regulaciones de protección de datos de consumidores y clientes explican la proyección de la ciberseguridad. Finanzas, energía e industria son los objetivos principales de los delincuentes. (Fig. 1)

Parte de este incremento se apoya en los cada vez mayores presupuestos de ciberseguridad, con una previsión de aumento del 34% para este año respecto del anterior. Los mayores refuerzos se producen en industria pesada, finanzas, sanidad y en el propio sector de la tecnología².

La necesidad de proteger nuestro contenido y redes digitales impulsa la compra de soluciones y la contratación de personal en las empresas capaces de enfrentar amenazas cada vez más sofisticadas. La experiencia y la inversión en seguridad de siste-

mas ha preparado a las industrias contra los ataques sencillos, de manera que ya no son las brechas de ingeniería social o los ataques masivos dirigidos a empleados, normalmente poco preparados para estos incidentes, lo que preocupa a los directores de seguridad. El cibercrimen profesional, los *hackers* al servicio de Estados y los *insiders* con acceso a sistemas críticos³ son las amenazas más serias según indican distintas organizaciones. Cada año, estos ataques arrancan el 0,8% del PIB mundial⁴.

La expansión de las tecnologías en nube y del Internet de las Cosas no facilita la labor. En concreto, las empresas creen que las zonas más vulnerables de su edificio digital son la TI invisible, las redes móviles, los servidores de correo electrónico, los dispositivos de los empleados y las tecnologías emergentes, donde el IoT aparece como la mayor preocupación en cuestiones de seguridad⁵. Consecuentemente, el 70% de las brechas se localizan en los dispositivos *endpoint* o de punto final⁶. Para protegerlos, las herramientas más habituales son la encriptación de los datos -por lo que la información interceptada no es de ningún uso para los atacantes-, la detección y respuesta *endpoint* y las actualizaciones constantes de parches.

La encriptación sostiene todos los negocios en internet. El intercambio de información que necesariamente debe salir de los puntos finales de los sistemas y llegar a los puertos de los receptores se cifra para evitar que caigan en las manos equivocadas. En sanidad y finanzas, la protección de ficheros personales es imperativo legal, de la misma forma que los servicios de pago por internet cumplen con estándares exigentes para que los datos bancarios o la dirección del cliente esté asegurada contra ciberasaltos.

3 idem

4 *Panorama actual de la Ciberseguridad en España*. Google, 2019

5 *The Cybersecurity Imperative Pulse Report*. ESI Thoughtlab, 2019

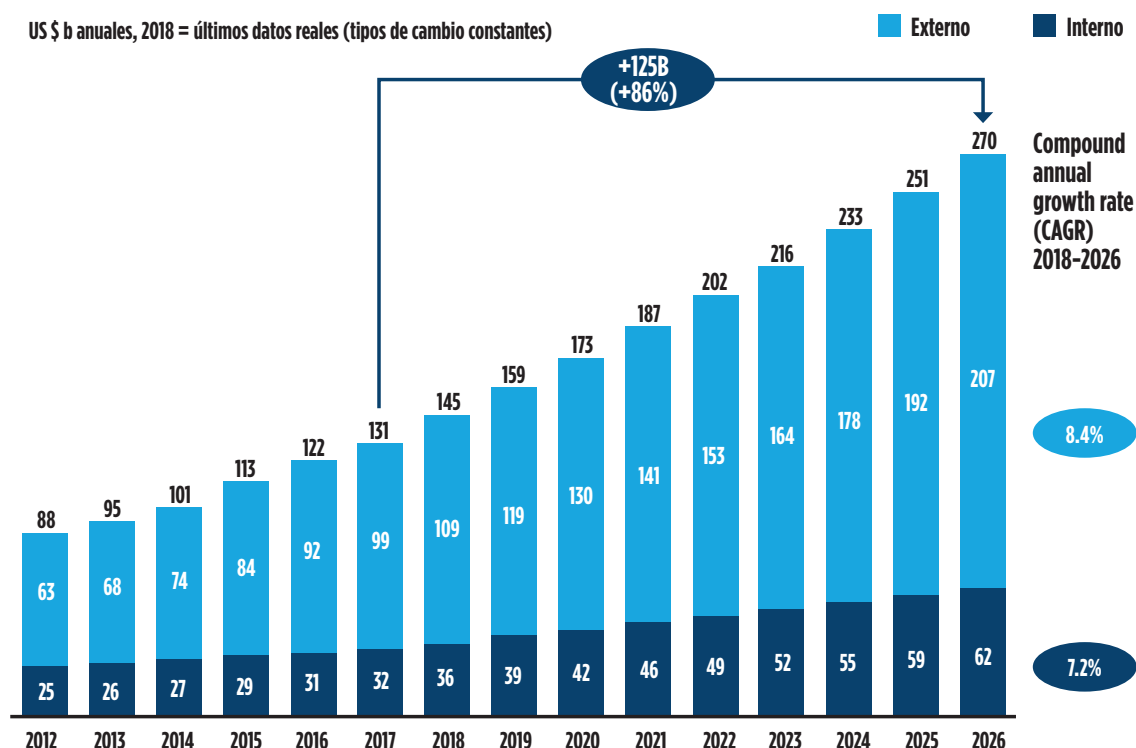
6 *2019 Endpoint Security Trends Report*. Absolute, 2019

1 *Global Cybersecurity Market Forecasts, 2019-2024*. Business Wire, 2019

2 *The Cybersecurity Imperative Pulse Report*. ESI Thoughtlab, 2019

Fig. 1 GASTO GLOBAL EN CIBERSEGURIDAD

Gasto hasta 2019 y proyección en soluciones de seguridad para prevenir brechas dentro de las organizaciones (internas) y amenazas externas.



Fuente: AustCyber, 2019

Asimismo, la operativa de la industria farmacéutica y tecnológica blindada con sistemas de cifrado su investigación para protegerla del espionaje industrial⁷. El coste de imagen, el riesgo de demandas de clientes y las pérdidas económicas causada por un ataque exitoso -148 dólares por cada registro confidencial robado⁸- son razones suficientes para que el resto de sectores invierta en sistemas de cifrado de archivos. El 53% de los ataques causa daños de más de medio millón de dólares⁹. (Fig. 2)

La encriptación es, al igual que las cajas fuertes en el mundo físico, la capa final de seguridad que previene del uso ilegítimo del contenido en caso de que el resto de medidas -cortafuegos, *software antimalware* y prevención de intrusiones- fallen. Existen dos estándares principales en función del destino de la información protegida. En el caso de que la información vaya a ser intercambiada con terceros se utiliza fundamentalmente el sistema de clave pública y cla-

ve privada, o asimétrico, basado en el algoritmo RSA.

Si el objetivo es blindar archivos almacenados, es más habitual recurrir al Advanced Encryption Standard-256 (AES-256)¹⁰.

El cifrado RSA ha resistido 40 años de ataques con éxito, por lo que se ha convertido en el algoritmo base para encriptar las comunicaciones más sensibles de la red. Sin embargo, hace décadas que se demostró que la computación cuántica es potencialmente capaz de resolver las claves que abren el candado criptográfico RSA, por lo que la estabilidad de las transacciones *online* está amenazada por los ordenadores que operan con *cubits* y no con *bits*¹¹. Un ordenador cuántico podría descifrar el RSA-1024, un popular algoritmo de cifrado, en cuestión de horas¹². La amenaza cuántica sigue firme mientras el porcentaje de páginas de internet que incorpora un

⁷ What is Endpoint Encryption? McAfee, 2020

⁸ 2018 Cost of a Data Breach Study: Global Overview. Ponemon Institute, 2018

⁹ Informe de Ciberseguridad Anual. Cisco, 2018

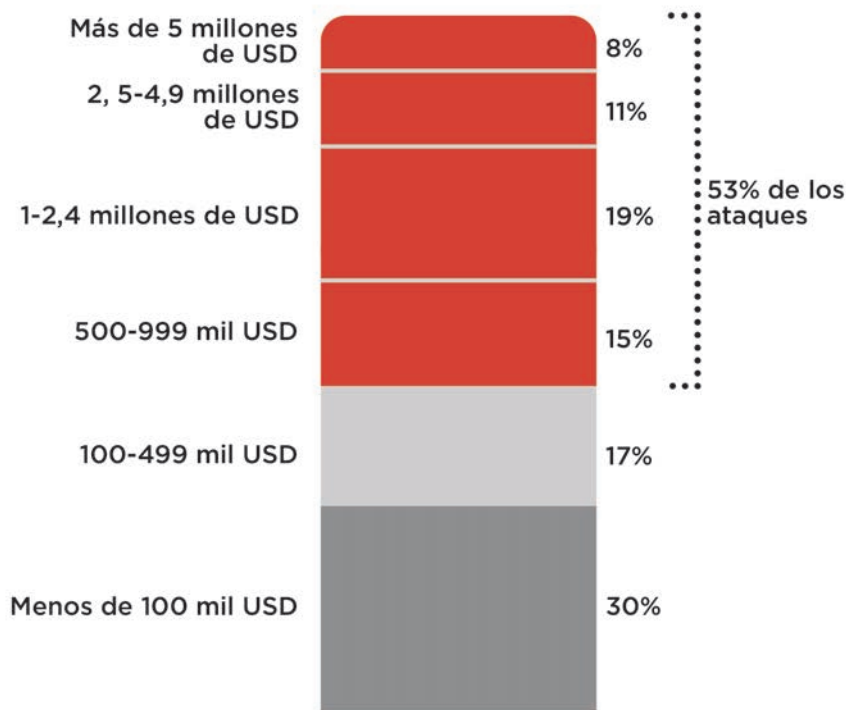
¹⁰ What is Endpoint Encryption? McAfee, 2020

¹¹ RSA Encryption - Keeping the Internet Secure. American Mathematical Society, 2014

¹² Los ordenadores cuánticos, una futura amenaza para la ciberseguridad. MIT Technology Review, 2018

Fig. 2 **COSTE DE LAS BRECHAS DE SEGURIDAD PARA LAS ORGANIZACIONES**

Más de la mitad de los ataques suponen pérdidas superiores a los 500.000 dólares.



Fuente: Cisco, 2018

certificado de encriptación simétrica o asimétrica se acerca al 100%¹³.

Se prevé que gobiernos y grandes empresas tengan acceso a esta revolucionaria forma de computación a lo largo de la presente década¹⁴, un nuevo mercado que tendrá un valor estimado de 10.000 millones de dólares en 2024¹⁵. Los actores ya se preparan para este gigantesco reto de seguridad aumentando la complejidad de los cifrados simétricos e invirtiendo en soluciones post-cuánticas. El encriptado en retícula o enrejado, el cifrado basado en Teoría de Código o las firmas digitales de *hashes*¹⁶, entre otros, son los sistemas más populares de la naciente ciberseguridad post-cuántica. El valor de este sector alcanzará los 759 millones de dólares en 2025¹⁷. (Fig. 3)

A escala global, el segmento del *software* de criptografía registró un valor global de 6.820 millones de

dólares en 2019, pero el impacto de la computación cuántica y las necesidades de protección extra que reclaman el IoT y la operación en nube impulsarán la facturación de este nicho hasta los 22.740 millones en 2027¹⁸.

La ciberseguridad representa una gran oportunidad y también una necesidad para nuestro país, que presenta un importante contraste entre el desarrollo que alcanza el área en el ámbito de la investigación y la administración frente al tejido empresarial.

El pequeño tamaño de la gran mayoría de nuestras empresas es la causa de que el 99,8% de ellas consideren que no son un objetivo deseable para los ciberdelincuentes, por lo que el grado de concienciación y preparación contra intrusiones es bajo¹⁹. Sin embargo, y debido precisamente a su menor protección, las pymes y los particulares son los objetivos principales de los ciberataques. En 2018 se registraron 102.000 incidentes en España, la mayoría lanza-

13 Panorama actual de la Ciberseguridad en España. Google, 2019

14 The Impact of Quantum Computing on Cybersecurity. Okta, 2019

15 Wielding a double-edged sword. Preparing cybersecurity now for a quantum world. IBM, 2018

16 idem

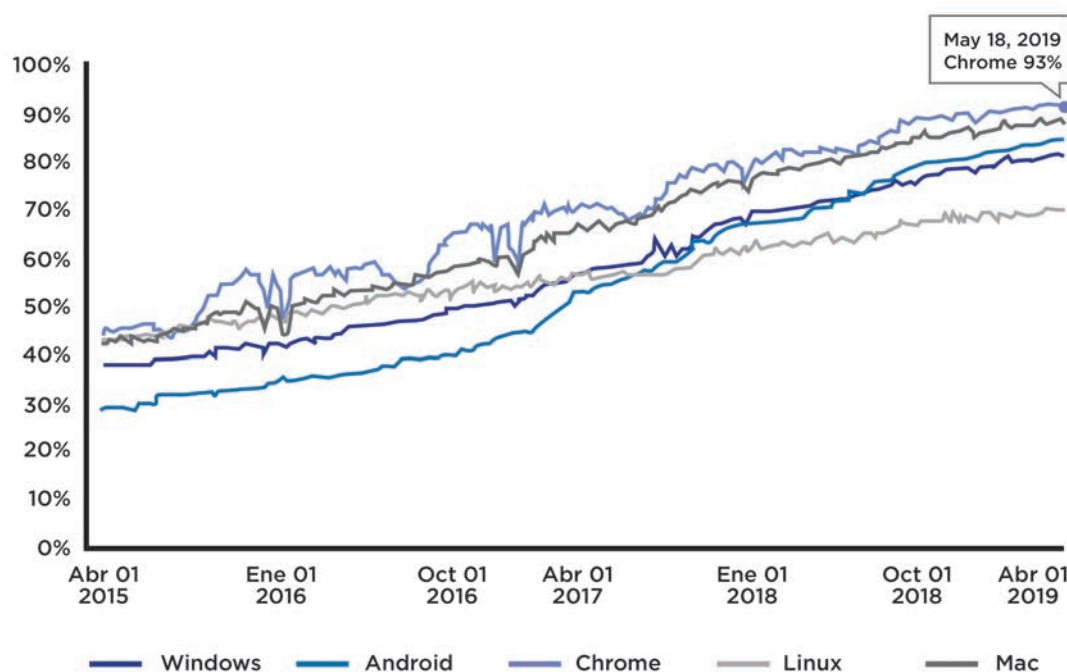
17 Global Quantum Cryptography Market is Expected to Reach USD 759.51 Million by 2025; Fior Markets. Globe Newswire, 2019

18 Global Encryption Software Market. Opportunities and Forecast 2020-2027. Allied Market Research, 2020

19 Ciberseguridad: el sector que va a necesitar 350.000 empleos en tres años. El Mundo, 2020

Fig. 3 PÁGINAS CARGADAS CON CERTIFICADO DE SEGURIDAD

Porcentaje de páginas con protocolo HTTPS en Chrome, por plataformas.



Fuente: Google 2019

dos contra estos pequeños usuarios. Cuando la brecha tiene éxito, el coste medio para la víctima ronda los 35.000 euros. Apenas un 40% de los negocios de este tamaño logra sobrevivir a las consecuencias del ciberataque²⁰.

El conjunto de las empresas españolas están por debajo de la media europea en el *ranking* de ciberseguridad elaborado por la consultora BitSight, al mismo nivel que Portugal e Italia y por debajo de Francia, Alemania y Reino Unido²¹.

A pesar de las oportunidades que ofrece el mercado, las empresas que buscan incorporar profesionales a sus líneas de defensa encuentran problemas para encontrar especialistas en ciberseguridad²², una situación que se da en el 40% de las compañías del país con reclutamientos abiertos en esta área. Nuestro país tiene una tasa de profesionales de las tecnologías de la Información y la Comunicación inferior al 3% de la fuerza de trabajo.

Es además un colectivo muy masculinizado²³.

Sin embargo, la robusta estructura legal levantada en los últimos años en el país -que aglutina la transposición de la normativa de provisión y notificación de incidentes, la Ley de Protección de Datos y la Estrategia Nacional de Ciberseguridad-, es terreno fértil para que crezca la demanda de soluciones de seguridad TIC²⁴. La suma de iniciativas legislativas, de difusión, técnicas y organizacionales del país, recogidas por la Unión Internacional de Telecomunicaciones en un indicador compuesto que permite comparar el grado de compromiso de los estados con este campo, coloca a España dentro de los diez países del mundo con mayor proyección en ciberseguridad²⁵.

En investigación académica, el país cuenta con más de un centenar de centros asociados a la Red de Excelencia Nacional de Investigación en Cibersegu-

20 Panorama actual de la Ciberseguridad en España. Google, 2019

21 Estado de la Ciberseguridad de las empresas españolas. Telefónica, 2017

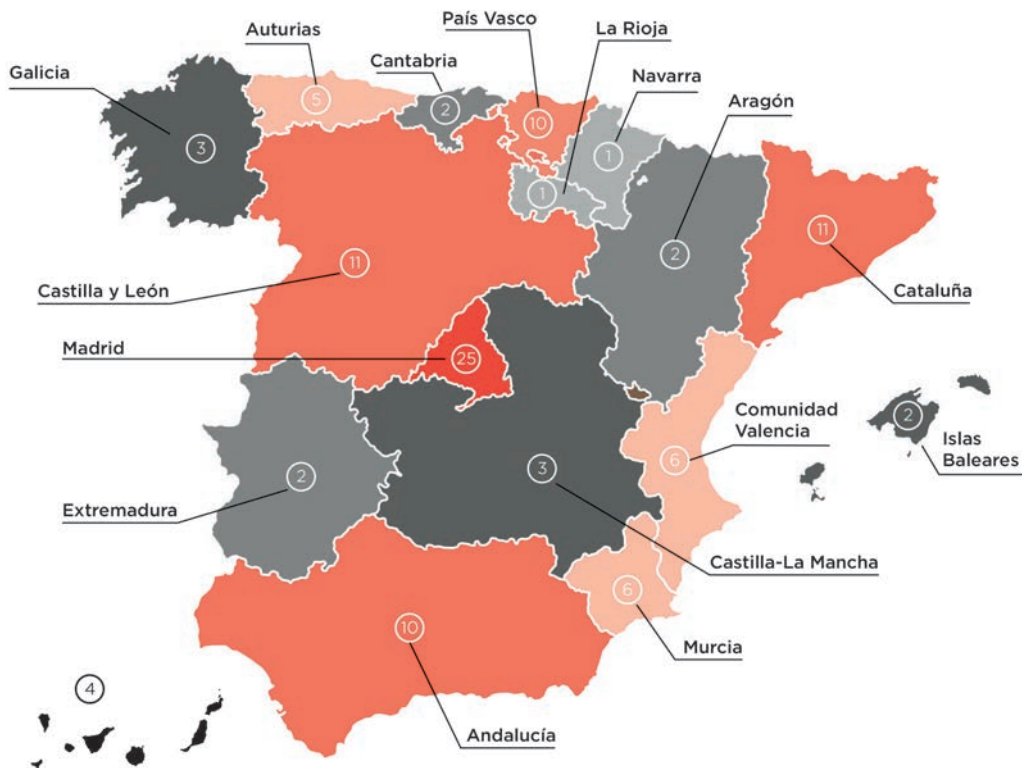
22 Instantánea del estado actual de la ciberseguridad en España. Xataka, 2018

23 Panorama actual de la Ciberseguridad en España. Google, 2019

24 idem

25 Global Cybersecurity Index (GCI). UIT, 2018

Fig. 4 ¿CUÁNTOS EQUIPOS DE INVESTIGACIÓN EN CIBERSEGURIDAD HAY EN ESPAÑA?



Fuente: Google 2019

ridad²⁶. El país alberga el tercer clúster público-privado de centros de I+D+i en este área más relevante de Europa²⁷. (Fig. 4)

En 2018, el sector alcanzó en España un valor de 1.200 millones de euros, un 11,6% más que el año anterior. Se trata de un mercado dominado por la consultoría TIC, que representa alrededor del 70% de la facturación. Las soluciones de *software* y *hardware* agrupan el resto de las ventas²⁸.

En cualquiera de sus variantes, el sector tiene posibilidades de expansión a lo largo de toda la transformación digital de España. Gobernanza, movilidad, servicios financieros y seguros, industria y medio

ambiente son mercados verticales en los que se despliegan nichos como ciberresiliencia para infraestructuras críticas, protección de industrias inteligentes y redes eléctricas distribuidas, seguridad *fintech* y detección de fraude y otras actividades que cubren la digitalización de la sanidad y la educación²⁹.

La cultura de ciberseguridad logra, poco a poco, calar en un usuario cada día más consciente de los riesgos que implica su expansión personal y profesional por el ciberespacio. De su capacidad para acompañarle y hacerle sentir seguro dependerá que el miedo no frene su voluntad por construir una vida digital aún más importante. •

²⁶ Panorama actual de la Ciberseguridad en España. Google, 2019

²⁷ Cibersecurity Competence Survey. CE, 2108

²⁸ El mercado de ciberseguridad en España crecerá por encima del 10%. IT Security, 2019

²⁹ Tendencias en el mercado de la ciberseguridad. Incibe, 2016

Capítulo **4** INTERNET DE LAS COSAS





4 INTERNET DE LAS COSAS

Máquinas que hablan con máquinas

JULIO MIRAVALLS

Internet nació en 1969. Durante más de 25 años fue apenas un artefacto de interés estratégico y académico. Era una red de seguridad para los militares estadounidenses, diseñado por su agencia de investigación científica y tecnológica DARPA, como un sistema resiliente de comunicación que, en caso de guerra nuclear, podría mantener el contacto de los mandos con las unidades gracias a su sistema de conexiones no lineales y descentralizadas entre nodos, todos de igual rango. La pérdida de uno no impediría llegar a los siguientes por otro camino. Para las Universidades, que tuvieron un papel relevante en su desarrollo (en especial Stanford y UCLA), se convirtió en un transporte perfecto para intercambiar información y documentos académicos.

El gran cambio se produce 20 años después, cuando Tim Berners Lee lanza en 1989 la idea del World Wide Web, con un lenguaje de descripción para los contenidos (html), un sistema de direcciones comprensible y fácil de recordar (urls), y un protocolo de comunicaciones para la navegación por hipertexto (http). En apenas 10 años la web, es decir internet, vivió una explosión de usuarios y contenidos al convertirse en un vehículo de contactos instantáneos o asíncronos prácticamente sin fronteras, de personas con personas, con grupos o con entidades.

El siguiente gran fenómeno tuvo lugar otros 20 años más tarde, cuando en 2009 el profesor del MIT Kevin Ashton acuñó el concepto de internet de las cosas (IoT), para referirse a un nuevo uso que empezaba a despuntar y desborda ya muy de largo los cientos de millones de comunicaciones por minuto que generan

los seres humanos: ahora son máquinas que hablan con máquinas.

Liberando un poco de dramatismo al concepto, la conversación entre máquinas no tiene por qué ser demasiado inteligente. Puede ir desde la sencilla transmisión de un dato contenido en dos bits cada cierto lapso de tiempo, hasta el intercambio constante de información tan compleja como las máquinas estén manejando. Pero lo abrumador del nuevo fenómeno es que ya no se trata de cientos de millones de comunicaciones por minuto, sino que la magnitud salta a miles de millones.

El internet de las cosas se basa en tres elementos: sensores que captan información del tipo que sea y la transmiten con la periodicidad que corresponda; la red de comunicaciones que transporta los mensajes; y sistemas que reciben la información, para almacenarla, procesarla, analizarla o advertir a un operario humano, según cuales sean los valores, urgencia y utilidad de los mensajes.

Es decir, un termostato o un temporizador que encienden y apagan un sistema de climatización según la temperatura o un horario preestablecido, no son parte del mundo IoT. Si cualquiera de ambos dispositivos está conectado a la red y cada vez que ejecuta una acción envía un mensaje de confirmación a un servidor, entonces sí está en el ámbito IoT, porque está transmitiendo datos, sea cual sea su valor e importancia, a otra máquina.

La amplitud del concepto se dilata sin límites. Las industrias con algún grado de automatización utilizan IoT, de manera más o menos intensiva, para controlar

los procesos, el estado de su maquinaria, y sus stocks de almacén e inventarios de producción. O para controlar la seguridad de las instalaciones. En las ciudades empiezan a proliferar cámaras que, con cierta polémica, aplican inteligencia artificial para identificar personas o detectar a aglomeraciones, tumultos u otros problemas y lanzar las alertas pertinentes.

Los captadores de información pueden ser de muy variados tipos, casi cualquiera que se pueda imaginar: medidores de temperatura, luz, presión, sensores de movimiento, barreras invisibles (con láser o infrarrojos), acelerómetros para percibir vibraciones, cámaras de vídeo o fotografía, en rangos de luz visible o no...

En mucha maquinaria industrial hay sensores que controlan sus puntos clave para vigilar si hay alteraciones inadecuadas en los parámetros de funcionamiento (exceso de temperatura, o cualquier otro síntoma medible), enviando en tiempo real los datos a un sistema IA para hacer mantenimiento predictivo, sabiendo por su comportamiento cuándo una pieza está próxima a fallar. El técnico interviene antes de que se produzca la avería y se evitan las visitas de revisión rutinaria.

La misma estrategia se utiliza en edificios para controlar el mantenimiento de ascensores y otras instalaciones susceptibles de monitorización, en trenes, en motores de aviación (aunque en este caso es menos frecuente el envío en tiempo real de los datos, que suelen descargarse al llegar a un aeropuerto).

Los particulares, a través de aplicaciones instaladas en su teléfono móvil, pueden monitorizar su domicilio y recibir mensajes de aviso, si hay alguna alteración no prevista, o interactuar por propia su iniciativa para echar un vistazo a la habitación de los niños, encender o apagar luces y otros dispositivos...

También ha empezado a desplegarse esta tecnología en el ámbito de la salud, para la atención de pacientes en recuperación o con problemas crónicos (por ejemplo, marcapasos conectados por internet) y se-

guimiento de personas mayores o con discapacidades que suelen estar mucho tiempo solos en casa.

Otro tipo de uso que anuncia la multiplicación de dispositivos y tráfico IoT es la irrupción de servicios relacionados con el automóvil. El tráfico en la ciudad puede ser gestionado con la información de sensores que cuentan la densidad de vehículos y los espacios aparcamiento. Y continuando por el coche conectado. Desde el año pasado ya es obligatorio que los vehículos nuevos que se venden en España incluyan un sistema automático de llamada a emergencias en caso de accidente.

Pero eso es una mínima aproximación al propósito de que el coche conectado esté emitiendo y recibiendo continuamente todo tipo de datos (localización, velocidad, incidencias, obstáculos), que, con los sensores estáticos, ayuden a crear un retrato en tiempo real del tráfico. A su vez, ese retrato es revertido a cada vehículo para ayudarle a trazar su ruta. La información se comparte por internet y eventualmente, entre coche y coche en proximidad, a través de una red local en el ámbito ciudadano. Es un paso previo a la llegada de los coches robóticos, sin conductor, para los que será una ayuda esencial para moverse por la ciudad.

EL PAPEL DE ESPAÑA

En las tecnologías IoT puede entenderse que el *hardware*, los diferentes tipos de sensores, ya está sometido a un cierto proceso de 'comoditización'. Hay fabricaciones masivas en países especializados en la producción con los que no hay mucho margen de competencia. Pero en el diseño de sistemas y aplicaciones las posibilidades son máximas.

El despliegue de dispositivos y la capa de software para gestionar su utilidad sólo parece requerir la formación específica de buenos desarrolladores, empresas especializadas y gente con imaginación para crear una industria de aplicaciones personalizables y a la medida. •



CON DATOS EN LA MANO

#4 Internet de las cosas

ANDRÉS VALDÉS

Internet de las cosas, o IoT en su acrónimo más extendido, es un concepto vago que, paradójicamente, describe bastante bien este campo tecnológico. Se habla de internet porque está basado en la transferencia de información en red y es de las cosas porque son objetos y no personas quienes recogen, comparten e interpretan los datos. IoT es la metodología para tejer el intercambio de información entre objetos y comunicar el mundo físico y el virtual, hasta hacerlos prácticamente indistinguibles. Gracias a esta tecnología es posible hacer una cartografía de lo que existe que recoge información de espacios desconocidos para la computación mediante sensores, contadores, medi-

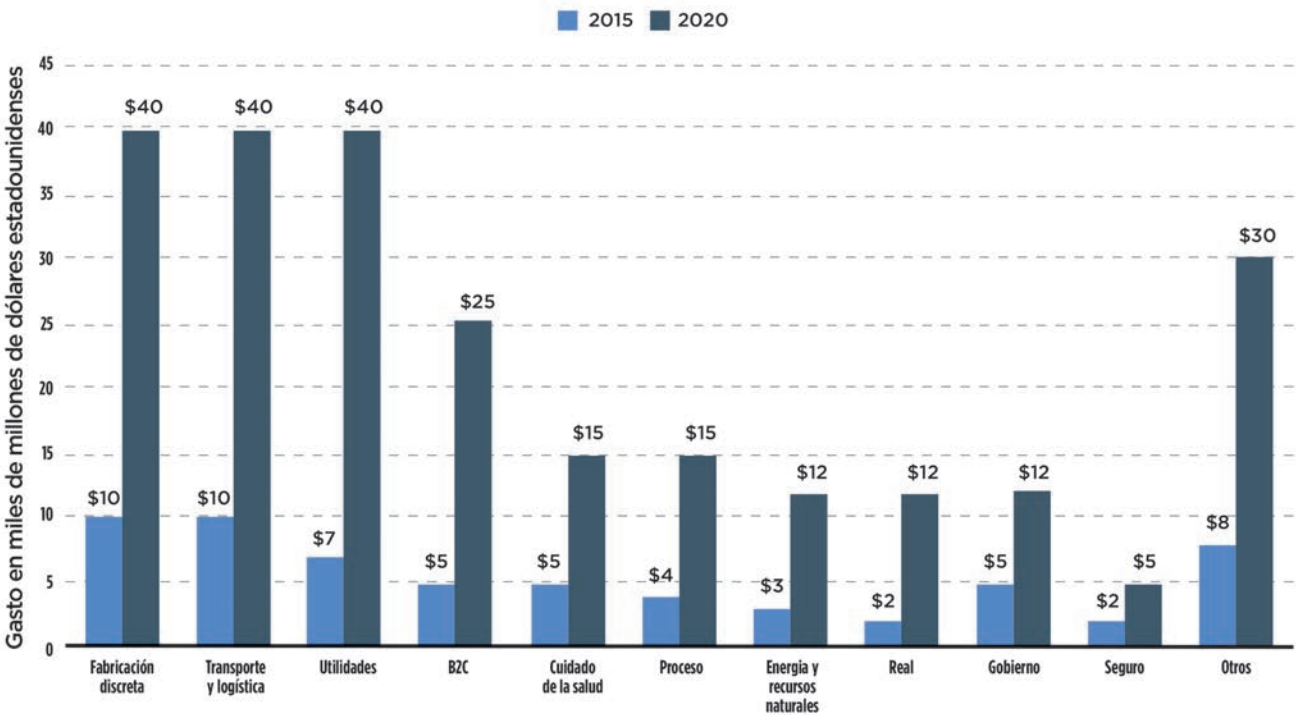
dores y gadgets. Internet de las Cosas es la antesala de lo que se conoce, también con notable imprecisión, como Internet de Todo¹; esto es, la integración en red de cosas, datos y personas.

A pesar de la sensación de omnipresencia tecnológica, nuestras vidas siguen estando muy desconectadas de los sistemas digitales. Son universos paralelos que hablan lenguajes distintos; uno, el de nuestras vidas, se expresa en analógico y otro, el de internet, el de la realidad tecnológica que nos rodea, se comunica en digital. En este sentido, el IoT consiste en dotar a los objetos de percepción y comunicación con los objetos en un esfuerzo por digitalizar el mundo con un nivel

¹ El Internet de Todo. BBVA, 2016

Fig. 1 GASTO MUNDIAL EN IOT POR INDUSTRIA

Por sector y en miles de millones de dólares. Datos de 2015 y proyección para 2020.



Fuente: Statista

de granularidad sin precedentes. Gracias al IoT podemos adquirir un conocimiento aumentado de la realidad ya traducido en lenguaje digital, de forma que los ordenadores puedan procesarlo y analizarlo. Por todo ello, el IoT tiene tantas implicaciones en Big Data e Inteligencia Artificial. Nuevos mercados, más eficiencia y más y mejores servicios. La IoT comunica y traduce el mundo real en datos con los que conocer y entender mejor la realidad que nos rodea y a nosotros mismos.

A finales de 2019 había 9.500 millones de dispositivos IoT conectados en el mundo² descontando móviles y ordenadores. En los próximos años, la demanda disparará la cifra hasta 28.000 millones en 2024³ y 40.000 millones en 2027⁴. El impacto en la economía de este grupo de tecnologías está estimado entre 4 y 11 billones de dólares en 2025⁵. La introducción de sensores y procesadores en transportes, instalaciones, maquinaria e incluso herramientas e instrumental genera ingentes

cantidades de datos y más capacidad analítica para predecir, optimizar y mejorar todas las operaciones⁶. (Fig. 1)

Las instalaciones IoT, con independencia de si los dispositivos se aplican a productos de consumo, industriales o a grandes sistemas como ciudades inteligentes, comparten una arquitectura común de tres elementos: sensores, redes y analítica⁷.

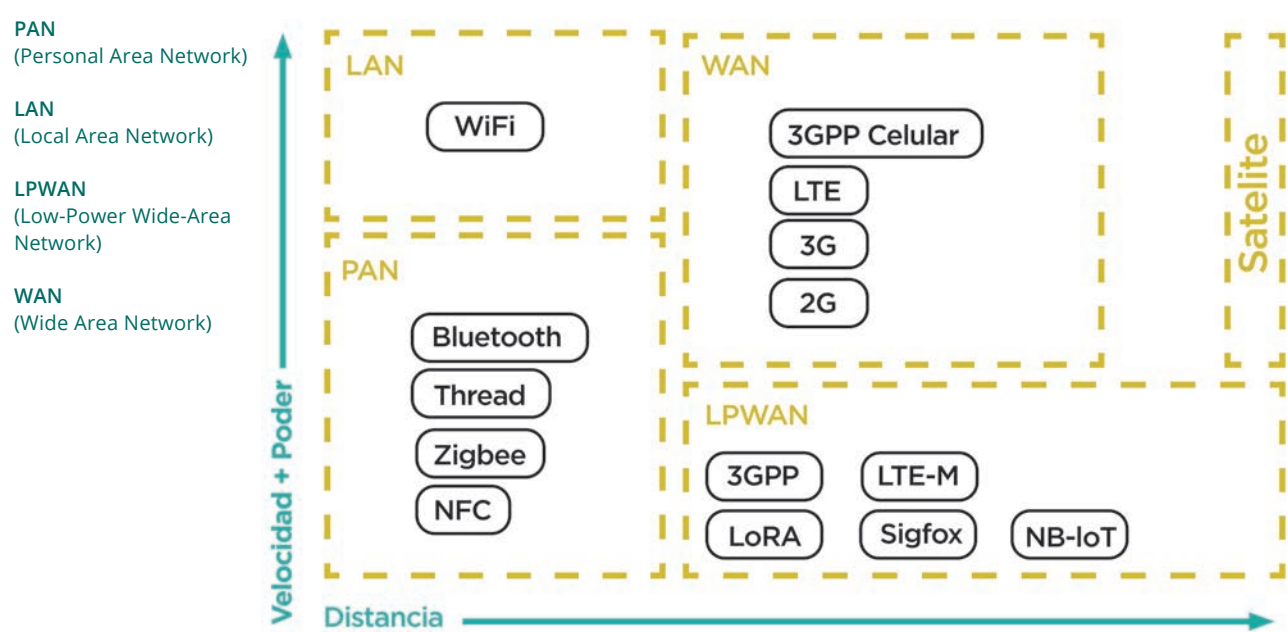
Los sensores captan una variable física, biológica o química y la traducen en señales que transmiten mediante una o varias pasarelas de red a un centro de datos, normalmente alojado en la nube, que almacena, procesa y extrae la información útil. Este sencillo esquema es, a día de hoy, una jungla de formatos, plataformas, lenguajes y protocolos que dificulta enormemente la interoperabilidad y la convergencia. Los principales problemas que afronta el Internet de las Cosas para normalizarse son la enorme fragmentación del mercado, la complejidad técnica de los proyectos y la falta de especialización profesional⁸. (Fig. 2)

2 *IoT 2019 in Review: The 10 Most Relevant IoT Developments of the Year*. IoT Analytics, 2020
3 *idem*
4 *The Internet of Things 2020*. Business Insider, 2020
5 *How can we recognize the real power of the Internet of Things?*. McKinsey Digital, 2017

6 *Internet of Things. The New Government to Business Platforms*. Banco Mundial, 2017
7 *idem*
8 *IoT Signals. Summary of Research Learnings 2019*. Microsoft, 2019

Fig. 2 PRESTACIONES LAS REDES IOT

Las necesidades de conectividad de cada proyecto u objeto IoT son diferentes. La distancia de transmisión, junto con la velocidad y el consumo de energía, determinan el diseño de producto. Estas son las tecnologías más demandadas por los fabricantes.



Fuente: AVSYSTEMS. 2019

Por ejemplo, las funciones de un medidor de polución ubicado en una finca agrícola no son las mismas que realiza el sensor de temperatura de un altavoz inteligente doméstico ni el radar, sónar, cámaras y otros receptores que utiliza un coche autónomo. Por ello, los dispositivos IoT utilizan diferentes sistemas de conexión en función de su utilidad y capacidad. Las prestaciones de conectividad, como velocidad de transmisión, consumo de energía y rango de alcance, determinan gran parte del éxito o fracaso de las soluciones IoT. Parte del ecosistema está articulado por tecnologías populares como conexiones fijas, redes móviles 2G, 3G, 4G y 5G y conexiones inalámbricas Bluetooth y Wi-Fi. No obstante, la variedad de objetos y aplicaciones IoT ha abierto campo para redes de corto alcance por radiofrecuencia (NFC), sistemas de baja velocidad y consumo (ZigBee) o protocolos sistémicos para sensorización de ciudades y grandes explotaciones (LoRa, Sigfox o NB-IoT). Además, la propiedad o gratuidad de los espectros determina el coste y la seguridad que tienen las transacciones de datos.

Las plataformas en la nube soportan las estructuras IoT y reducen sus complejidades. Ellas son el media-

dor que reúne sensores, dispositivos, redes, datos y aplicaciones en un mismo sistema⁹. Las necesidades comunes entre los desarrolladores de servicios para procesamiento de datos así como gestión y diagnóstico de hardware y conexiones¹⁰ abren un enorme mercado para los gigantes de las TIC. Google, Amazon, Microsoft, IBM, Cisco, SAP, Bosch, General Electric o Salesforce son sólo algunas de las macrocorporaciones que han lanzado su propia plataforma IoT. (Fig. 3)

Algunos analistas han indicado que la normalización del ecosistema se producirá probablemente por selección natural en la competición entre empresas por imponer sus estándares tecnológicos en esta fase inicial del mercado¹¹.

La adopción más temprana de las distintas tecnología del IoT se está produciendo en la industrias sanitarias, gubernamentales, logísticas y mayoristas. El 85,6% de las empresas líderes a nivel global en estos

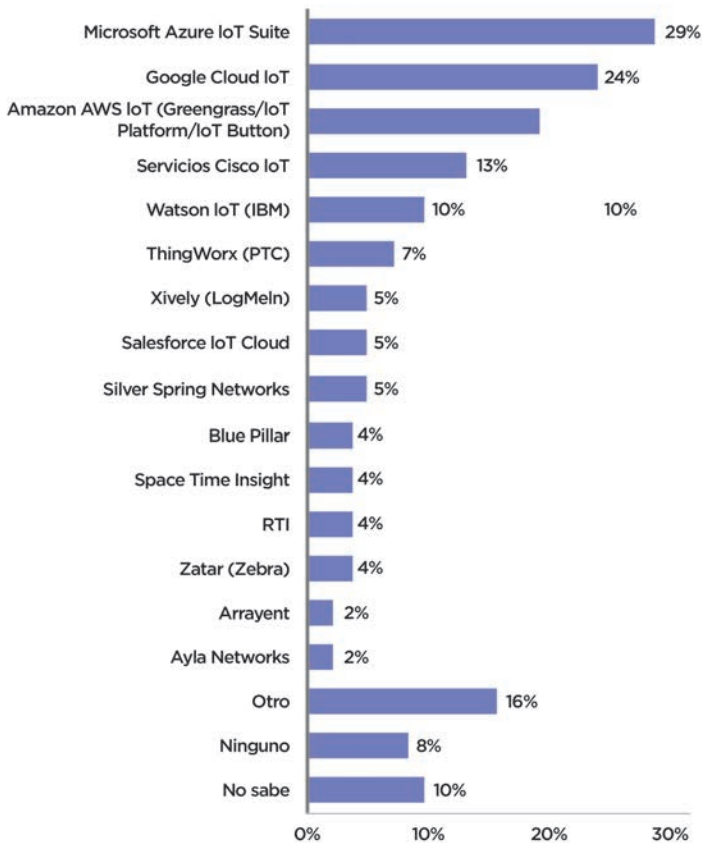
9 Top Seven IoT Platforms for 2018. Sam Solutions, 2018

10 IoT platforms: enabling the Internet of Things. IHS Markit, 2016

11 Ten Trends of Internet of Things in 2020. BBVA OpenMind, 2019

Fig. 3 **PLATAFORMAS MÁS UTILIZADAS LOS DESARROLLADORES**

Principales soluciones tecnológicas en proyectos de software en IoT.



Fuente: Cowen Software Developer Survey, 2017

sectores tienen al menos un proyecto IoT en algún nivel de desarrollo. El 74% de ellas han superado la fase de pruebas y ya utilizan estos sistemas en el día a día, aunque sólo la mitad de los adoptadores califican de “alto” el uso que hacen sus empresas del IoT. Los directivos esperan un rápido retorno de inversión: un 30% en apenas dos años¹². Consideran, según la macroencuesta *Signals 2019* elaborada por Microsoft, que la ventaja del IoT es el aumento de la rentabilidad, la eficiencia y la calidad de sus procesos, aunque señalan como principales desafíos la dificultad técnica para implementar las soluciones, el diseño de aplicaciones adecuadas a su negocio y la seguridad. Existe un número importante de proyectos de IoT que no han superado todavía la fase de prueba de concepto. Además, la vulnerabilidad de estos sistemas nacientes motivó más de 100 millones de ataques a dispositivos IoT sólo en los seis primeros meses de 2019¹³. Las brechas de seguridad desincentivan la apuesta por este campo tecnológico

hasta en un 37% de las grandes empresas¹⁴. (Fig. 4)

Por regiones, las empresas de Asia-Pacífico lideran la transición del Internet de las Cosas desde el estado de planificación al de adopción temprana. Liderados por China, los países orientales son pioneros en operar plenamente con IoT en actividades empresariales internas y externas. EE UU y Europa van a la par y algo más retrasadas¹⁵.

La primera potencia asiática es además el mayor productor de tecnología aplicada en este campo. Con 41.845 patentes IoT presentadas en 2019, supera a EE UU (37.595) y al tercer país de la lista, Corea del Sur, con 5.516 licencias. Según Statista, España ocupa la última en el ránking de los diez países más activos en innovación IoT, con 2.784 aplicaciones registradas el año pasado¹⁶. (Fig. 5)

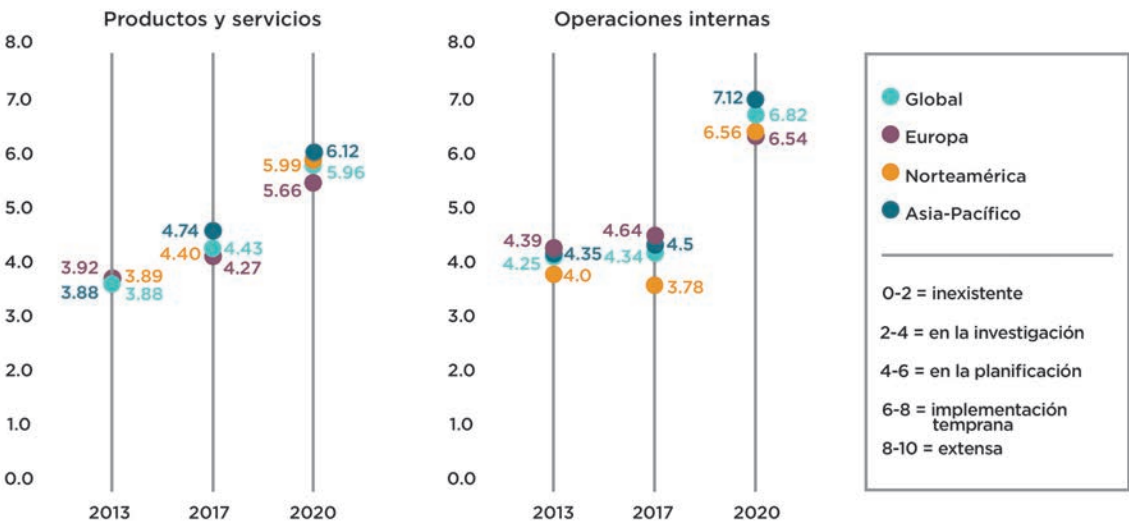
El gasto total en soluciones IoT en Europa está cre-

12 IoT Signals. Summary of Research Learnings 2019. Microsoft, 2019
13 Over 100 Million IoT Attacks Detected in 1H 2019. Info Security, 2019

14 The IoT Business Index 2020: a step change in adoption. The Economist Intelligence Unit, 2020
15 idem
16 Internet de las Cosas. Comparativa Internacional, España y Comunidades Autónomas. EAE Business School, 2020

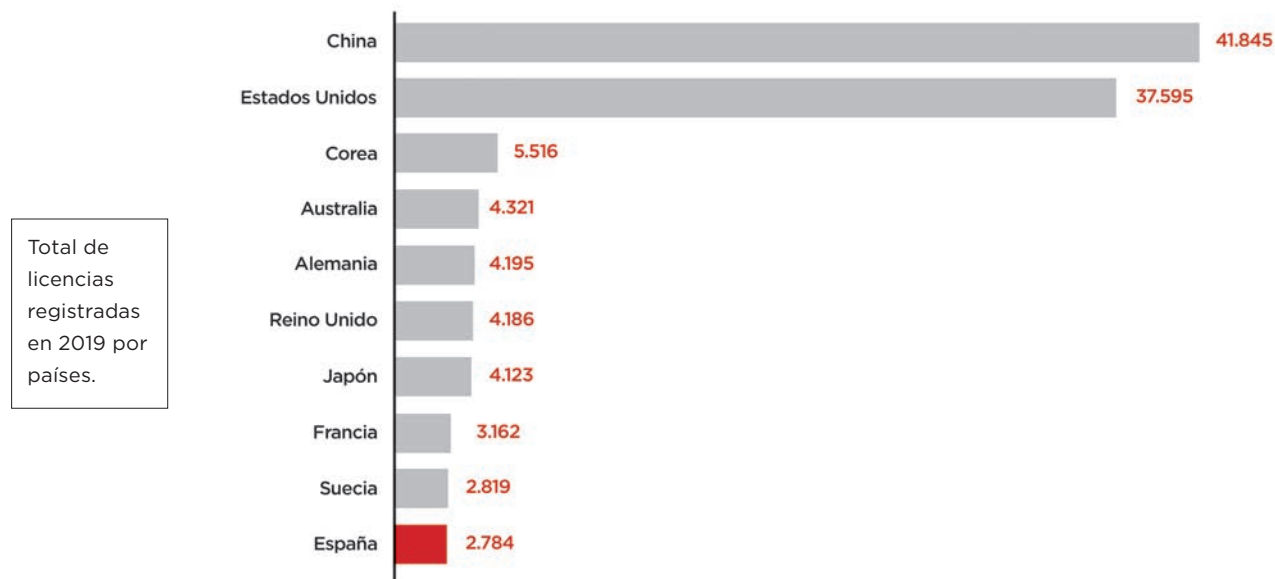
Fig. 4 PROGRESO DE LA ADOPCIÓN IOT

Los mayores avances en la incorporación del Internet de las Cosas en empresas se producen en operaciones internas. Sólo las compañías asiáticas han pasado a la fase de adopción temprana en todas sus actividades.



Fuente: The Economist Intelligence Unit, 2020

Fig. 5 **PATENTES MUNDIALES IOT**



Fuente: Statista/EAE Business School. 2020

ciendo con una tasa de doble dígito desde 2017. Algunos analistas de mercado como IDC estiman que supere los 240.000 millones de dólares en 2022¹⁷. Sin embargo, la adopción es desigual y varía en función del peso demográfico. El mercado del Internet de las Cosas está concentrado en 2020 en los países de mayor población del continente, con el Reino Unido (23%), Alemania (21%) y Francia (16%). Ellos concentran la mayor parte de las operaciones. España representa el 6% del negocio dentro del bloque.

Como quinto país europeo por inversión en estas tecnologías, España cuenta ya con más 6 millones de objetos conectados al IoT a través de las tres grandes teleoperadoras del mercado¹⁸. A gran escala, las principales inversiones se realizan en sensorización de ciudades y adopción de soluciones empresariales de automatización, ahorro de costes y experiencia de cliente.

La red española de *smart cities*, con 65 urbes sensorizadas, cuenta con Barcelona entre las tres ciudades del mundo más inteligentes, junto a Londres y Singapur¹⁹. Además, las comunidades autónomas han distribuido ayudas por valor de 69 millones de euros entre sus municipios para la transformación de destinos turísticos inteligentes. La digitalización urbana es, junto con

la industria, el transporte y la automoción, el sector con mayor mercado IoT en nuestro país²⁰. En 2023, el número de vehículos conectados crecerá un 78% respecto a los 5 millones registrados en la actualidad.

Sin embargo, los productos de consumo para domótica y los dispositivos electrónicos personales captan cada vez más el interés de los ciudadanos. En comercio, la multicanalidad encuentra clientes cada vez más receptivos a que las tiendas incluyan soluciones IoT²¹. Es un hecho que el usuario español busca medir mejor todos los aspectos de su vida: los medidores multi-propósito son, después de los relojes inteligentes, los dispositivos IoT más deseados²². La mitad de la población del país ya tiene algún nivel de conocimiento de lo que es el IoT²³.

El ecosistema tiene todavía gran complejidad, pero si algo resulta evidente es que si las grandes empresas se implican en esta oportunidad y si cuentan con el apoyo decidido de la Administración, el Internet de las Cosas nos permitirá trasponer el mundo físico en el digital en una de las grandes empresas de la primera mitad de este siglo. •

17 Worldwide Internet of Things Spending Guide. IDC, 2019

18 España se lanza al boom del internet de las cosas con 6,5 millones de objetos conectados. El Independiente, 2019

19 España, quinto país de Europa en inversión en IoT. Forbes, 2020

20 Internet de las Cosas. Comparativa Internacional, España y Comunidades Autónomas. EAE Business School, 2020

21 Things Matter 2019. La experiencia del usuario de Internet de las Cosas en España. Telefónica, 2019

22 idem

23 Internet de las Cosas. Comparativa Internacional, España y Comunidades Autónomas. EAE Business School, 2020

Capítulo **5** **MATERIALES** FOTOACTIVOS **AVANZADOS**





5 MATERIALES FOTOACTIVOS AVANZADOS

Extensión de las superficies de captación fotovoltaica

JULIO MIRAVALLS

En el año 2013, cuando prácticamente debutaba en escena el programa Horizonte 2020, iniciativa estelar de la Unión Europea para la innovación con decenas de miles de millones de euros en cartera, uno de los puntos de máxima incidencia eran los ‘nuevos materiales’. Y en particular, el grafeno, las láminas de carbono bidimensionales (con sólo un átomo de grosor) con propiedades cuasi milagrosas, aplicables a los campos de la energía, fabricación de dispositivos informáticos mucho más eficientes, iluminación, superconductores, aleaciones metálicas superligeras y ultrarresistentes, nuevos desarrollos en el campo de la sanidad...

Pasados siete años, el desarrollo de aplicaciones prácticas del grafeno sigue sus pasos, de manera mayoritaria en los laboratorios, sin que ello apague la relevancia que han de tener los nuevos materiales en los desarrollos tecnológicos. No hay que olvidar que, de las llamadas *tierras raras* (17 elementos químicos), algunas de ellas intensivamente requeridas para la fabricación de múltiples dispositivos esenciales, las mayores reservas y capacidad de producción suponen casi un monopolio de China. La investigación en posibles materiales alternativos es imperativa.

La aplicación de nuevos materiales a la producción de energía, para mejorar en eficiencia y sostenibilidad medioambiental es uno de los grandes desafíos industriales. Especialmente en el desarrollo fotovoltaico. Para las células solares convencionales existe un límite físico en el rendimiento que pueden aportar. Es decir, en el porcentaje de la can-

tidad de luz que reciben que pueden convertir en energía. Para una placa normal de silicio, rondar el 17% o 18% está bastante bien.

Ese límite físico, llamado de Shockley-Queisser (Shockley inventó el transistor), prácticamente ha sido alcanzado ya en las células más eficientes. Se pueden comprar placas solares que rinden, en sus mejores momentos, hasta un 25%. Invertir en investigación y desarrollos con intención de mejorar las posibilidades de esta tecnología es muy costoso, para conseguir apenas una mínima diferencia favorable.

La clave es cómo reaccionan ante la luz los materiales de los que están construidas las placas. El Sol no envía a la Tierra luz de un solo color, sino un amplio espectro, con extremos invisibles, desde el ultravioleta hasta el infrarrojo. El silicio absorbe luz de onda larga, fotones que poseen una energía en torno a 1.1 electrón-voltio, pero a la vez es como un cristal transparente para los que transportan menos energía. Lo atraviesan y se pierden. Y tampoco consiguen las placas de silicio captar la energía de los fotones que llevan mayor carga, que sin atravesarlas se transforman en calor.

“La suma de ambas pérdidas son dos tercios del total de la energía lumínica” señala el veterano profesor Josef Michl, químico experto en la materia que sigue trabajando en la *fisión singlete*, en busca de rendimientos de hasta el 50% de la energía solar recibida. El proceso de la *fisión singlete*, típicamente orgánico, se basa en utilizar material molecular que “absorbe un fotón y entra en un estado de excitación directa. El estado de excitación tiene las

mismas propiedades de spin que el estado fundamental (el de más baja energía). A eso se le llama singlete, y su excitación se puede transferir de una molécula a otra y ser compartida por varias moléculas”.

La estrategia se dirige a absorber los fotones con energías más altas y los de carga media, con dos láminas separadas en la placa, una con un material capaz de generar fisión singlete y otra de silicio normal, para multiplicar la captación.

Michl trabaja en una segunda cuestión, también muy relevante, para la fabricación de sus células solares: necesita encontrar materiales que sean eficientes en la captura y que no se deterioren rápidamente por el efecto de la luz solar, o el contacto con la atmósfera.

La mejora significativa del aprovechamiento de la energía solar pasa en todo caso por disponer de nuevos materiales fotoactivos (que reaccionan a la luz y desencadenan procesos generadores de energía), capaces de superar las limitaciones del silicio y multiplicar las capacidades de las placas. Investigaciones en los laboratorios de nanotecnología molecular proponen ir un paso más adelante: el reto de convertir toda clase de superficies en paneles solares, mediante esos materiales fotoactivos. El objetivo es modificar a nivel molecular los materiales para que cambien sus propiedades. Las células solares de tercera generación, basadas en polímeros, son plásticas, orgánicas y flexibles. Lo que permitiría ‘pintar’ células solares y sugiere la idea de una capa que puede convertir una pared, una carretera o una superficie cualquiera, en cap-

tadora de luz solar. De esta manera pueden ampliarse enormemente los espacios dedicados a la captación fotovoltaica.

Los avances en nanotecnología orientados a este campo también buscan nuevos materiales para crear paneles solares libres de silicio, con celdas solares orgánicas de baja temperatura.

EL PAPEL DE ESPAÑA

En España no se fabrican placas solares de manera industrial y masiva. Hay empresas que tratan de abrirse un hueco con iniciativas diferenciadas frente a la feroz competencia china, pero sobre toda la actividad en este campo se dedica a la instalación, ensamblaje de algunos componentes y mantenimiento. Y a la gestión de granjas fotovoltaicas, es decir a la explotación de la tecnología instalada.

Sin embargo, sí se están desarrollando procesos punteros de investigación, que podrían llevar directamente a la nueva generación de captadores de energía solar, más allá de los procesos basados en el módulo de silicio que todavía domina el mercado y seguirá haciéndolo en los años inmediatos. La puesta en escena de nuevos materiales que superen sus características es una gran oportunidad disruptiva para entrar con fuerza en un mercado en el que sólo somos clientes y usuarios.

La batalla se plantea en superar con nuevas tecnologías la eficiencia en las prestaciones de las placas convencionales, que podrán seguir abaratando precios, pero no librarse de las pesadas limitaciones que les impone la física en su rendimiento. •



CON DATOS EN LA MANO

#5 Nuevos materiales fotoactivos

ANDRÉS VALDÉS

Capturar la energía que genera la radiación solar en una oblea de silicio y transformarla en electricidad es una de las formas de producir energía más elegante y sostenible que ha ideado el ser humano. Hay algo muy inspirador en la posibilidad de impulsar nuestro progreso con la luz que emite y comparte nuestra estrella y que tal vez explique la popularidad y las esperanzas que rodean a la fotovoltaica. El ser humano ha encontrado en esta tecnología una oportunidad para sus propósitos y un poder inagotable, limpio y universal.

Estas aspiraciones abstractas surgen de las propiedades de materia inerte. Es la composición de minerales como el silicio, el cadmio, el indio o las perovskitas lo que determina la posibilidad y el estado de la tecnología fotovoltaica. Desde el descubrimiento del efecto fotovoltaico a finales del siglo XIX hasta la reciente creación de células solares de película fina, los avances han dependido de la capacidad de la ciencia para mejorar la conductividad de estos minerales y descubrir nuevos materiales. Son la piedra angular de la energía renovable con más proyección por inversión y aplicaciones. Hoy, el 2% de la electricidad global y el 5% de la europea se produce mediante células fotovoltaicas¹. En 2050, esta tecnología puede cubrir el 25% de toda la demanda eléctrica del mundo.

MÁS POTENCIA

La Agencia Internacional de la Energía cree que la fotovoltaica acaparará más de la mitad de los 1.200 GW de potencia en renovables que se instalarán en el mundo entre 2019 y 2024. La contribución al mix energético de esa industria podría crecer hasta el 75% si durante estos cinco años se cumple el compromiso de mantener el aumento de temperatura por debajo de dos

grados². Las proyecciones de la Agencia Internacional para las Energías Renovables (IRENA) usan ese mismo escenario de fidelidad al Acuerdo de París y estiman que en 2050 la fotovoltaica habrá multiplicado por diez su peso de 2016 en el mix de generación. Con 8.500 GW de potencia instalada, producirá una cuarta parte de la electricidad mundial. Un compromiso con la sostenibilidad futura que generará además inversiones de entre 160.000 y 190.000 millones de dólares³ anualmente. (Fig. 1)

Estas expectativas se basan también en la enorme tracción ganada durante la pasada década. En ese periodo, la fotovoltaica ha adelantado en recursos y capacidad a la energía eólica, líder tradicional del sector. Entre 2010 y 2019, recibió más financiación –1,3 billones de dólares frente a 1– y sumó más potencia –633 GW en paneles solares frente a 487 en aerogeneradores⁴. Además, en 2018, empresas y gobiernos gastaron dos veces más en investigación y desarrollo de aplicaciones para fotoelectricidad que en tecnología vinculada a parques marinos y terrestres de viento⁵.

Una parte del *sorpasso* se explica por el interés de los grandes actores en fomentar las redes de generación solar distribuida. La Unión Europea, EE UU, India y Japón están despejando barreras legislativas y políticas para su desarrollo mientras que China, principal proveedor de energía y tecnología fotovoltaica, ha aprobado incentivos públicos para la industria con la meta de reducir el coste de producción del kilovatio hora e integrar la generación distribuida en su sistema. Oriente Medio y Latinoamérica se perfilan también

² <https://www.iea.org/reports/renewables-2019>

³ Irena. Future of solar Photovoltaic, nov. 2019. https://www.irena.org/-/media/Files/IRENA/Agency/Publication/2019/Nov/IRENA_Future_of_Solar_PV_2019.pdf

⁴ <https://wedocs.unep.org/bitstream/handle/20.500.11822/29752/GTR2019.pdf?sequence=1&isAllowed=y>

⁵ <https://wedocs.unep.org/bitstream/handle/20.500.11822/29752/GTR2019.pdf?sequence=1&isAllowed=y>

¹ Agencia Internacional de la Energía. Tracking Power 2019 <https://www.iea.org/reports/tracking-power-2019/solar-pv>

Fig. 1 MIX DE GENERACIÓN ELÉCTRICA Y POTENCIA TOTAL INSTALADA

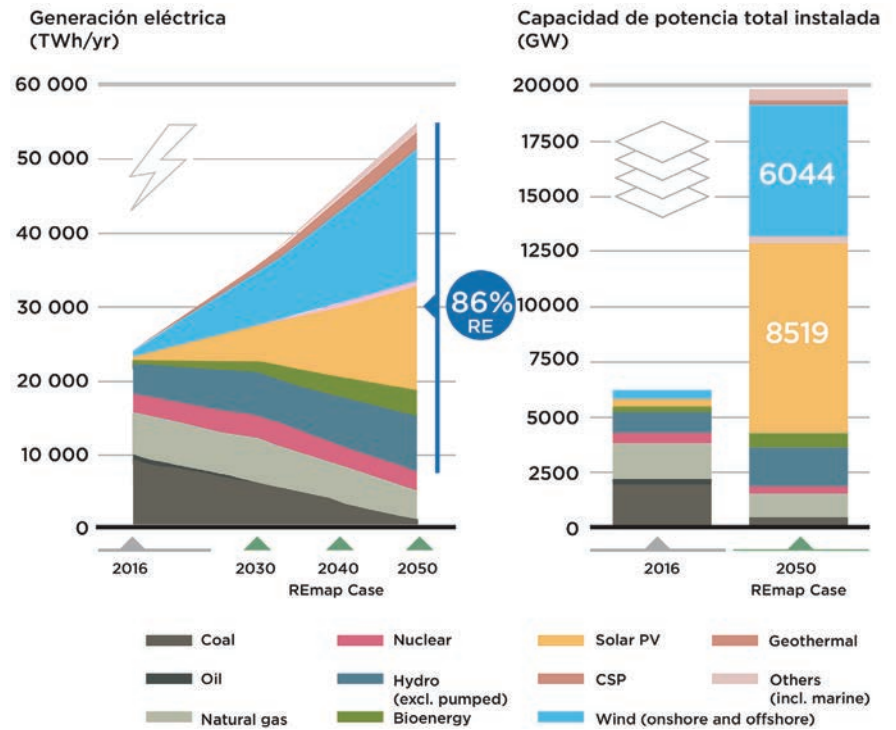
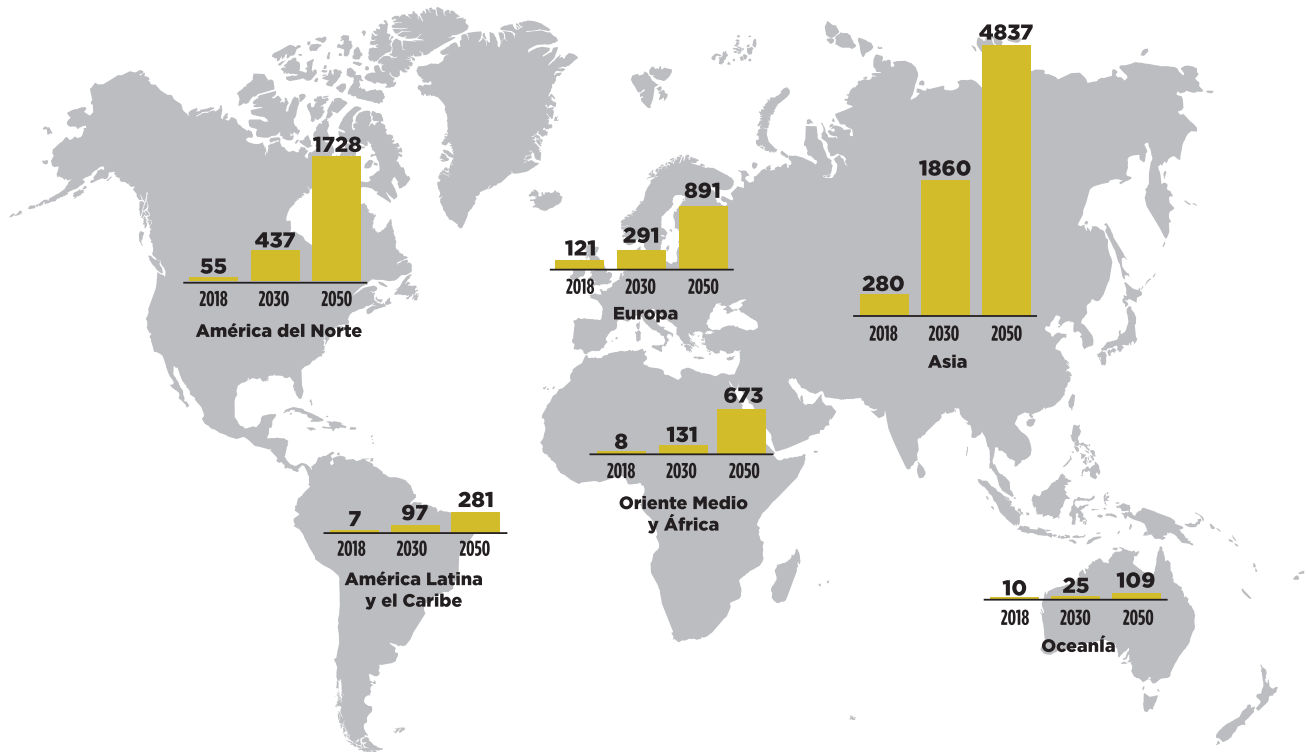


Fig. 2 CAPACIDAD INSTALADA DE ENERGÍA SOLAR FOTOVOLTAICA (GW)

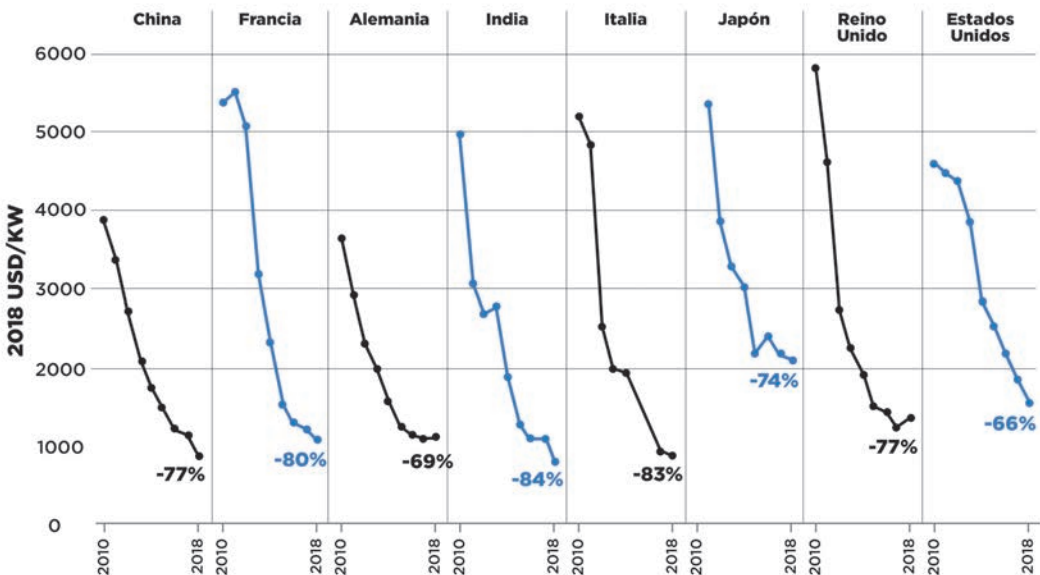
Entre las regiones del mundo, Asia está preparada para dominar las instalaciones fotovoltaicas solares globales en el escenario REmap, seguido de América del Norte y Europa.



Fuente: Valores históricos basados en las estadísticas de energía renovable de Irena (IRENA, 2019c) y proyecciones futuras basadas en el análisis de IRENA (2019)

Fig. 3 COSTO TOTAL INSTALADO A ESCALA COMERCIAL

Solar fotovoltaica a escala, países seleccionados, 2010 -18.



Fuente: IRENA (2019)

como nuevos mercados. La AIE considera que estos países y regiones marcarán el paso del sector durante los próximos cinco años⁶. Sólo en 2020, se sumará una capacidad global similar a la que tiene todo el parque europeo, 142 GW⁷. (Fig. 2)

La Unión Europea, segunda potencia en energía fotovoltaica después de China, superó los 130 GW en 2019. Ese mismo año, la adjudicación mediante subasta de 4 GW y el viraje político hacia la transición energética, cerraron la etapa del impuesto al sol⁸ y convirtieron a España en el principal mercado continental tras once años prácticamente desaparecida del negocio. En 2020, vuelve a estar entre los cinco países europeos con mayor despliegue en la instalación de paneles solares⁹.

MÁS ALLÁ DEL SILICIO

Este optimismo es fruto de la madurez que han alcanzado los sistemas basados en paneles de silicio mono y policristalino. Si estos paneles azules se distinguen en campo abierto y tejados de medio mundo es porque las células de este mineral han multiplicado su

eficiencia en los últimos 20 años hasta lograr convertir en electricidad entre el 14 y 21% de la luz recibida. En los laboratorios de todo el mundo, donde se ensayan otros materiales y se continúan generando nuevos records de eficiencia, la llamada primera generación de células fotovoltaicas copa el 80%¹⁰ del mercado mundial, porcentaje que algunos estudios expanden hasta el 95%¹¹ de los productos en venta.

Con estas tasas de eficiencia, la fabricación de células de silicio se ha disparado y con ella el cumplimiento de la Ley de Swanson: por cada aumento del 100% en la venta de paneles, su precio baja un 20% y con él el coste promedio de producción de electricidad. IRENA prevé que el 80% de las instalaciones que entren en funcionamiento en 2020 generen ya energía a un coste menor que las opciones más baratas de combustibles fósiles¹². A este ritmo, el kilovatio/hora solar alcanzará a mediados de siglo un coste global medio de entre 0,05 y 0,01 dólares¹³. (Fig. 3)

Los esfuerzos en I+D continúan para superar la efi-

6 Agencia Internacional de la Energía. Tracking Power 2019 <https://www.iea.org/reports/tracking-power-2019/solar-pv>

7 <https://renewablesnow.com/news/global-solar-capacity-to-increase-by-142-gw-in-2020-682794/>

8 https://unef.es/wp-content/uploads/dlm_uploads/2019/09/memoria_unef_2019-web.pdf

9 Solar Europe. EU Market Outlook (2019)

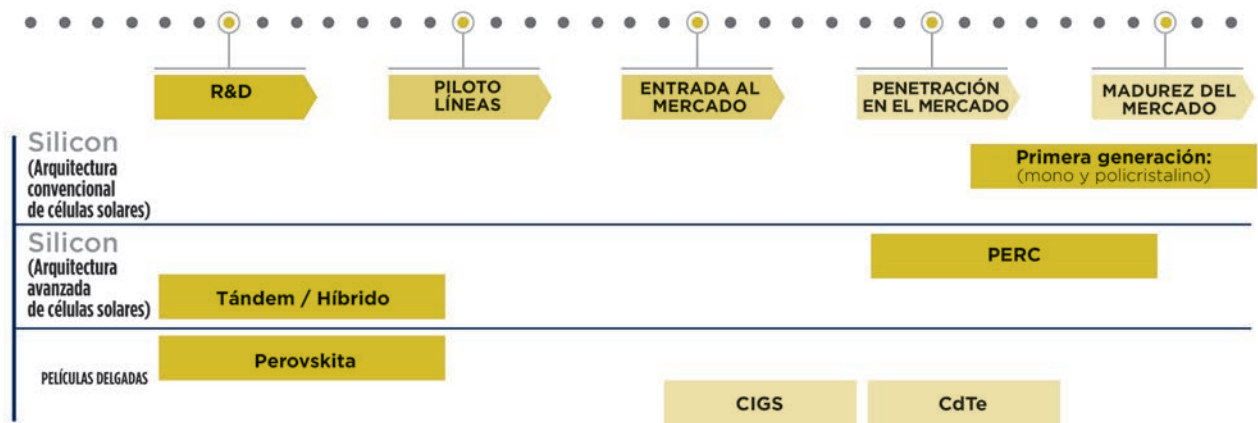
10 Gul, M.; Kotak, Y.; Muneer, T. Review on recent trend of solar photovoltaic technology. Energy Explor. Exploit. 2016, 34, 485–526.

11 https://www.irena.org/-/media/Files/IRENA/Agency/Publication/2019/Nov/IRENA_Future_of_Solar_PV_2019.pdf

12 <https://elperiodicodelaenergia.com/las-renovables-mantienen-su-imparable-caida-de-costes-la-fotovoltaica-ya-esta-por-debajo-de-los-tres-centavos-de-dolar-por-kwh/>

13 <https://www.pv-magazine.com/2019/11/13/irena-predicts-lcoe-of-solar-will-drop-to-0-01-0-05-by-mid-century/>

Fig. 4 ESTADO DE LA TECNOLOGÍA FOTOVOLTAICA SOLAR



Nota: CIGS - diselenuro de cobre - indio - galio; CdTe - telururo de cadmio. PERC- emisor pasivado y celda trasera / contacto

ciencia de generación fotovoltaica. Las mejoras en la tecnología PERC (Passivated Emitter Rear Cell), que permiten aprovechar la luz infrarroja en células de silicio, han logrado eficiencias en pruebas ligeramente superiores al 24%¹⁴. A la vez, los paneles bifaciales, diseñados para recoger el albedo o rebote de luz en tierra, ganan en cuota de mercado y podrían introducir este año el 20% de los módulos basados en este mineral y el 40% a finales de década¹⁵. Las estructuras híbridas o en tandem que combinan el silicio con polímeros u otros materiales como las perovskitas prometen (ya que todavía no son una realidad comercial)¹⁶ que sus prestaciones pueden mejorar notablemente, tanto en eficiencia como en vida útil del panel, aunque su complicada fabricación las mantiene fuera del circuito comercial. (Fig. 4)

La segunda tipología de células abandona el silicio y ensaya otros minerales. Más versátiles y baratas aunque menos eficientes¹⁷, se engloban bajo la denominación células de película fina y ocupan, según algunos analistas, alrededor del 20% del mercado¹⁸. Su flexibilidad las hace especialmente interesantes para la fotovoltaica integrada en la edificación. Las celdas basadas en telurio de cadmio (CdTe) son las más conocidas por los instaladores, seguidas de las llamadas CIGS (cobre,

indio, galio y selenio). Ofrecen, en su versión comercial, rangos de eficiencias de entre el 9,4-13,8% y el 11-18,7% respectivamente. Pese a que su capacidad de transformar la radiación solar ha superado el 21% en laboratorio, la escasez y rareza de algunos de estos minerales compromete la viabilidad de la tecnología¹⁹.

Más prometedor parece el futuro de las celdas solares basadas en las perovskitas, que han subido en pocos años de un rendimiento inicial del 4% a rozar el 25%, cerca del récord del silicio en laboratorio del 27%.²⁰ Es abundante y permite distintos diseños de panel. Sólo su fragilidad le impide, por ahora, ver la luz del sol y transformarla en una realidad comercial atractiva.

En cualquier caso, este ámbito tecnológico representa una oportunidad indudable para España, ya que somos unos de los países de Europa con más horas de sol. Constituye, además, un factor para superar la dependencia energética que lastra la economía y condiciona las relaciones internacionales, así como un trampolín para cumplir los objetivos de transición energética. Las empresas, las universidades y el gobierno lo saben y por ello participan en investigación solar desde sus ámbitos o de forma conjunta, destacando como centros de referencia el Centro de Investigaciones Energéticas, Medioambientales y Tecnológicas (Ciemat), de carácter público, o el Centro Nacional de Energías Renovables (CENER), en cuyo patronato participan varios ministerios, el Gobierno de Navarra y el propio Ciemat. •

14 <https://www.pv-magazine.com/2019/01/17/perc-cell-efficiency-records-tumble/>

15 https://pv.vdma.org/documents/105945/26776337/ITRPV%20Ninth%20Edition%202018%20including%20maturity%20report%2020180904_1536055215523.pdf/a907157c-a241-ee0-310d-fd76f1685b2a

16 <https://www.pv-magazine-latam.com/2018/08/13/el-32-de-las-celulas-solares-en-tandem-seguiran-siendo-competitivas-incluso-si-su-precio-triplica-el-de-las-convencionales/>

17 Tiantian Zhang, Meng Wang and Hongxing Yang A Review of the Energy Performance and Life-Cycle Assessment of Building-Integrated Photovoltaic (BIPV) Systems. Nov. 2018

18 Gul, M.; Kotak, Y.; Muneer, T. Review on recent trend of solar photovoltaic technology. Energy Explor. Exploit. 2016, 34, 485-526.

19 idem

20 https://www.irena.org/-/media/Files/IRENA/Agency/Publication/2019/Nov/IRENA_Future_of_Solar_PV_2019.pdf

Capítulo **6** **ENERGÍA** D I S T R I B U I D A





6 ENERGÍA D I S T R I B U I D A

Integración de energía solar en el sistema eléctrico

JULIO MIRAVALLS

Alemania tiene unos 20 gigavatios en paneles solares instalados en los tejados de las casas. España no llega a uno. Y, mientras tanto, millones de alemanes vienen a España cada año en busca del sol en vacaciones. Es una paradoja que sólo tiene una explicación: en un país que tiene unos envidiables recursos solares, el juego de la política y grupos económicos de presión han plantado un toldo virtual para tapar la luz del astro rey.

El concepto de generación distribuida de energía se refiere a la proliferación de pequeñas instalaciones capaces de producir electricidad lo más cerca posible de los lugares donde se consume, asumiendo que esos puntos de generación se conectan a la red de distribución de energía.

No es, por tanto, la idea de poner simplemente un puñado de paneles solares en los tejados de cada casa. Ni el concepto estricto de autoconsumo, que persigue generar la electricidad para atender las necesidades propias y quizás verter a la red los eventuales excedentes, con lo que esta modalidad de generación para autoconsumo también puede ser un componente de un sistema descentralizado, no tan dependiente como el actual de las grandes centrales eléctricas e infraestructuras de transporte.

La microgeneración eficazmente distribuida por el territorio añade un factor de estabilidad al sistema eléctrico, menos vulnerable al fallo de alguna de las grandes fuentes de suministro. Se reduce la carga en

las redes y también la pérdida de energía inherente al transporte. Y puede incorporar todo tipo de sistemas de generación de energía, aunque lo que se considera más deseable es aprovechar las renovables y, en el caso español, especialmente la solar.

Si en España no se ha posibilitado el despliegue es, en gran medida, por un marco regulatorio que no lo ha favorecido. Mejor dicho, prácticamente lo impedía. Pero todo lo que rodea las renovables debe ser un mercado muy importante en España. Y, al menos, hay ya un cambio normativo para favorecerlo, a partir del Real Decreto 244/2019, del pasado 5 de abril.

Con ese Real Decreto, el Gobierno establece una regulación de las condiciones administrativas, técnicas y económicas del autoconsumo de energía eléctrica. El texto proclama que su objetivo es “impulsar que el autoconsumo se realice con generación distribuida renovable”. También establece “que la energía autoconsumida de origen renovable, cogeneración o residuos, estará exenta de todo tipo de cargos y peajes”. La norma redefine el concepto legal de autoconsumo, entendiendo que es “el consumo por parte de uno o varios consumidores de energía eléctrica proveniente de instalaciones de generación próximas a las de consumo y asociadas a las mismas”.

También establece que hay dos modalidades: la que no genera excedentes, y por tanto no hace vertidos a la red, y la que sí. Los consumidores sin excedentes quedan eximidos de la exigencia de tener “permisos de acceso y conexión de las instalaciones de generación”.

Y, finalmente, el decreto establece una fórmula de retribución para los excedentes vertidos a la red que, de manera simplificada, son equivalentes al precio que se paga en cada momento por la electricidad consumida de la red. Una normativa que elimina definitivamente el *impuesto al sol* y, en sentido opuesto, parece más razonable también que la que provocó hace una década una burbuja de especulación, con inversiones en renovables basadas en retribuciones insostenibles que multiplicaban varias veces los precios aplicados a los consumidores finales. El estallido de esa burbuja y las decisiones políticas siguientes frenaron en seco el desarrollo natural del despliegue de energía solar y eólica.

Si el entorno regulatorio deja de ser una barrera casi insalvable para la proliferación de sistemas de captación de energía, quedan notables retos tecnológicos, sobre la energía solar distribuida y el eventual apoyo de otras fuentes, renovables o no.

No es sólo cuestión de colocar paneles, sino de cómo integrarlos con soluciones que permitan mayor autonomía. El modelo, que se denomina *smart grid*, trata de aplicar inteligencia para la integración dinámica de los sistemas que están generando, los que están consumiendo y, eventualmente, los medios de almacenamiento que pudieran estar disponibles para compensar momentos de menor producción que consumo. Situaciones que se producen cuando hay nubes y llueve, y cuando es de noche y la fuente principal es la luz solar. O cuando no hay viento para mover los aerogeneradores de los molinos.

Hace más de un decenio, un soñador danés, Peter Qvist Lorentsen, quiso poner en funcionamiento una miniciudad autosuficiente, basándose en energías renovables, solar y eólica, conectadas a un *smart grid* que, aislado de la red general, tenía como mayor desafío completar el ciclo en los momentos sin sol ni viento. Su plan era generar hidrógeno, como reserva energética, y usar las baterías de los coches eléctricos (al menos uno en cada garaje) como almacenamiento distribuido. El curioso experimento, llamado H2PIA, nunca se llevó a cabo. Le golpearon de lleno la crisis y la recesión. Pero el diseño casi utópico de aquel proyecto aporta valiosas pistas de la clase de problemas y soluciones sobre los que pivota la idea de energía distribuida.

EL PAPEL DE ESPAÑA

Expertos consideran que España podría ser líder, como lo fue en los primeros momentos de despliegue de energías eólica y termosolar. Al menos en este campo sí se puede afirmar que nuestro país dispone de abundantes materias primas.

Hay mucha tecnología todavía por desplegar, por desarrollar y por integrar, lo que señala una gran oportunidad.

Hay que resolver técnicamente cuestiones sobre cómo se puede compartir virtualmente la energía con otros que generan y cómo verter los excedentes a la red.

Y desarrollar la inteligencia en torno al consumo, para que sea posible desplazar las curvas de los grá-

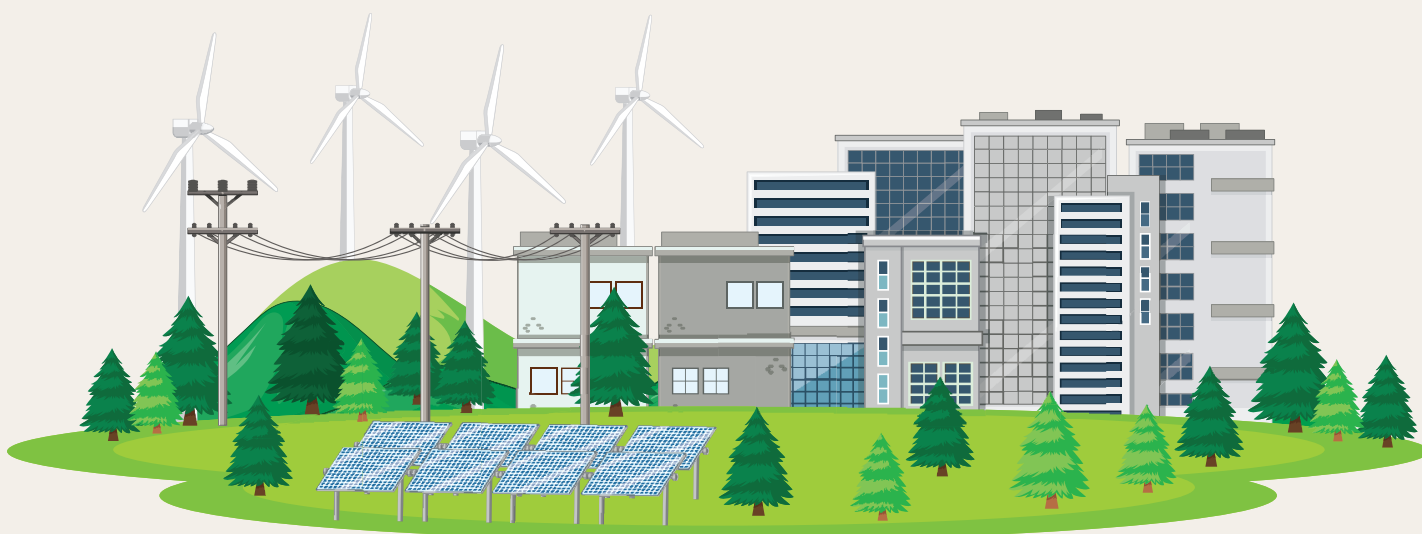
ficos desde la generación centralizada y gestionada de manera global hasta una producción distribuida, coordinada y con granularidad para atacar en proximidad las incidencias.

Aunque también es esencial considerar que el potencial de mejora tecnológica de los dispositivos es aún considerable. El rendimiento de las placas comerciales actuales apenas llega al 20%, pese a que el coste de los paneles solares ha experimentado un descenso sin precedentes en los últimos 10 años, cercano al 90%, precisamente por los avances en la tecnología.

El siguiente paso que puede determinar una posición de ventaja es el desarrollo de nuevos materiales para la fabricación de células fotovoltaicas que favorezca una mayor reducción de costes y mejora del rendimiento. Los avances pueden lograrse utilizando nue-

vos materiales, como perovskita y células orgánicas, y concibiendo nuevas estrategias de diseño y aplicación, como la *fisión singlete*, que investiga el experto Josef Michl, de la Universidad de Boulder, para superar el límite de Shockley-Queisser, utilizando paneles con doble capa de diferentes materiales capaces de absorber la energía de fotones con distinta longitud de onda.

Y aún queda otra opción, con margen para investigar soluciones innovadoras, en la combinación inteligente de placas solares con baterías para facilitar la propagación de soluciones de autoconsumo, mejorando la autonomía de la generación solar. Al igual que los paneles solares, las baterías están en plena carrera tecnológica buscando la mejora del rendimiento y la reducción de costes. Una solución necesaria para posibilitar que la luz solar ilumine nuestras casas también de noche. •





CON DATOS EN LA MANO

#6 Energía distribuida

ANDRÉS VALDÉS

Las líneas de alta tensión constituyen parte de nuestro paisaje. Atraviesan todo tipo de accidentes geográficos, enclaves paisajísticos e incluso núcleos urbanos. La distribución de energía sigue la lógica del transporte y busca la manera más racional de llevar su valiosa carga desde el punto de producción al de consumo. La distancia entre las grandes centrales de generación, normalmente grandes instalaciones cercanas a la fuente de energía y, por tanto, en general, alejadas de las poblaciones, y los hogares e industrias que consumen la electricidad que transportan ha dibujado un mapa de trazado complejo en nuestra geografía. De igual modo, el sector ha asumido como inevitables los costes causados por las pérdidas del transporte de electricidad o la imposibilidad de fijar la producción exacta requerida para satisfacer la demanda. Electrificación ha sido sinónimo de redes centralizadas, sobredimensionadas y enormemente complejas. La irrupción de las energías renovables, y con ellas la posibilidad de disponer de un gran número de centrales de producción de electricidad de distintos tamaños, ha cambiado de forma significativa el mapa de la distribución de la electricidad.

El sol y el viento producen electricidad dondequiera que haya una instalación. Este hecho simple desafía el *statu quo* de la distribución energética tradicional. Porque el propietario de una instalación fotovoltaica o de un pequeño aerogenerador se convierte en un actor que produce y consume energía, en un *prosumidor* que necesita menos electricidad del sistema general y que, en distintos momentos, dispone de excedentes que pueden ser aprovechados por otros usuarios mediante una red común de energía distribuida. Con esta nueva red interconectada mediante un flujo bidireccional y variable de energía, el sistema eléctrico gana flexibilidad y eficacia ya que acerca la generación de corriente de su consumo final. Esta nueva red se asemeja más a un mapa de carreteras

que contiene no solo autopistas, sino un gran número de carreteras comarcales e incluso locales. Las redes de energía distribuida ofrecen otra ventaja muy importante, ya que son capaces de transmitir datos con información desde todos los nodos participantes. Esta nueva red eléctrica hiperconectada supone la transformación de un sistema energético rígido e ineficiente en otro más versátil, sostenible y participativo.

Las grandes posibilidades que supone el despliegue de paneles solares por las superficies urbanas otorgan a la energía fotovoltaica un papel protagonista en este nuevo paradigma. Sin embargo, otras fuentes de energía distribuida como la pequeña eólica¹, los vehículos eléctricos y los sistemas de almacenamiento con baterías en hogares o industrias son también parte de los activos de las microrredes. Con ellas aparecen además nuevas figuras técnicas y gestoras, como los agregadores, que comercializan la energía de una o varias instalaciones de autoconsumo comunitarias o las centrales eléctricas virtuales, cuya función es canalizar la producción y la información procedente de la red comunitaria para ponerla a disposición del resto del sistema. (Fig. 1)

La multipolaridad del nuevo esquema exige una mejor gestión tecnológica. Mediante redes inteligentes o *Power Line Communications* (PLC), los agentes envían y reciben, además de energía, datos sobre el estado del sistema, lo que permite optimizar la facturación, el control de la generación y el almacenamiento². Además, la aplicación de Inteligencia Artificial permitirá anticipar picos de demanda y programar la distribución, con lo que se reducen los costes de todos los agentes de la red³.

Además, los dispositivos inteligentes de control permitirán a operadores, agregadores y particulares un

¹ *Eólica de Pequeña Potencia*. Instituto para la Diversificación y Ahorro de la Energía (IDAE)

² *La aplicación de la Inteligencia Artificial en redes eléctricas*. Smart-City World, 2018

³ *idem*

Fig. 1 **TECNOLOGÍAS PARA UNA RED MÁS EFICIENTE**

La combinación de tecnologías y estrategias en *smart grids* garantizan la optimización de recursos: generación distribuida para reducir la demanda con renovables; sistemas de almacenamiento para aplanar valles y picos en el consumo; medidas de eficiencia energética que reducen el total de demanda y tecnologías de gestión de demanda para bajar el consumo en las horas de mayor precio de la energía.



Fuente: WEF, 2017

control total sobre el consumo. De esta manera es posible elegir qué aparatos conectar o apagar en función de los precios por hora o para evitar sobrecargas en la red⁴. El intercambio de excedentes también se simplifica y automatiza a través de estos medidores. No obstante, este aumento de los puntos de acceso al sistema incrementa la importancia de la ciberseguridad en el sector energético⁵. (Fig. 2)

El potencial transformador de las redes inteligentes es gigantesco. En 2017, la OCDE estimó que el impacto de estas tecnologías en los siguientes diez años alcanzaría los 2,2 billones de euros en los países desarrollados⁶. Dadas estas expectativas, algunas voces proponen superar la dualidad que divide el debate entre un modelo centralizado basado en la producción y distribución a gran escala y otro caracterizado por la existencia de múltiples nodos hiperconectados. La alternativa que proponen consiste en un formato mixto que permita avanzar hacia un sistema en el que

ambas estructuras pueden coexistir y, de hecho, complementarse⁷.

Existe un amplio acuerdo entre los principales foros especializados sobre la enorme importancia que tiene una legislación adecuada para poder avanzar hacia un sistema más racional, con la escala y la conectividad adecuadas. Sin un marco jurídico racional, estable en el tiempo y ampliamente consensuado, las microrredes crecen sin dirección y su aportación será escasa sino irrelevante. La Agencia Internacional de las Energías Renovables (IRENA, en sus siglas inglesas), principal promotor global de la transición energética, asume además que la energía distribuida necesita agregar numerosas iniciativas para configurar una entidad grande y fiable que preste apoyo al sistema⁸, por lo que sus beneficios generales aparecerán en el largo plazo.

No obstante, tres factores están impulsando el desarrollo inicial de estas redes. De un lado, el interés de

4 Nueva tecnología promete dominar el sistema de generación distribuida. Energía Estratégica, 2017

5 idem

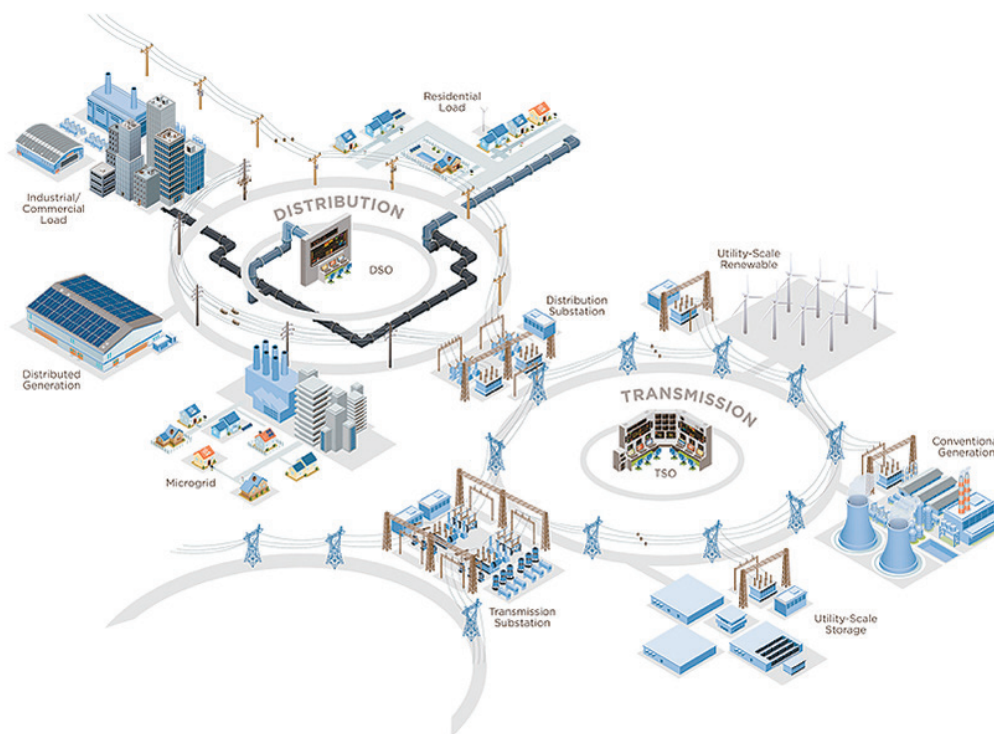
6 Las nuevas tecnologías en redes eléctricas crearán 2,2 billones de valor en los próximos 10 años. El Periódico de la Energía, 2017

7 Power market reform and integration of VREs. Renewable Energy Institute, 2020

8 Innovation landscape for a renewable-powered future: Solutions to integrate variable renewables. IRENA, 2019

Fig. 2 EJEMPLO DE RED DISTRIBUIDA

Esquema de un sistema distribuido integrado por microrredes residenciales y comerciales, generación tradicional, sistemas de almacenamiento y operadores de distribución y transmisión.



Fuente: Medium.com

los usuarios por contribuir a la red con sus excedentes, que se complementa con la apertura de las distribuidoras a flexibilizar su dependencia de las grandes centrales para comprar y vender energía comunitaria, opción interpretada como una oportunidad de redirigir su negocio desde la concentración de capital hacia la optimización del funcionamiento del sistema⁹. En este sentido, se estima que la participación de un número relevante de microrredes en el mercado eléctrico mayorista reduciría la volatilidad de los precios y lo haría más competitivo¹⁰. Estas dos motivaciones para apostar por la energía distribuida desde la rentabilidad privada se ven además respaldadas por la necesidad de mayores cuotas de renovables en nuestro mix energético. Algunos mercados eléctricos en Francia, Escandinavia, Estados Unidos y Reino Unido ya ensayan la incorporación de electricidad procedente de pequeñas redes distribuidas¹¹. (Fig. 3)

9 *Maximizing Distributed Energy Resources: Global Insight On Distribution Grid Regulations*. Forbes, 2019

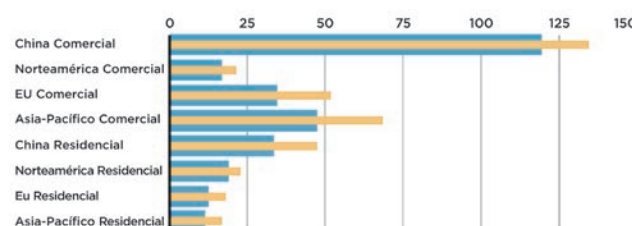
10 *Innovation landscape for a renewable-powered future: Solutions to integrate variable renewables*. IRENA, 2019

11 idem

En este sentido, el organismo de la OCDE para la energía, la Agencia Internacional de la Energía (IEA por sus siglas en inglés), estima que la adopción de redes distribuidas solares en el periodo 2019-2024 permitirá elevar la capacidad global actual un 250%, lo que supondrá una potencia instalada de 530 GW. En un escenario favorable, definido por regulación clara y adecuada, unos precios asequibles y un mejor acceso a la financiación para pequeñas instalaciones, esa proyección de potencia aumenta un 30%¹² más.

Fig. 3 CRECIMIENTO EN FV RESIDENCIAL Y COMERCIAL

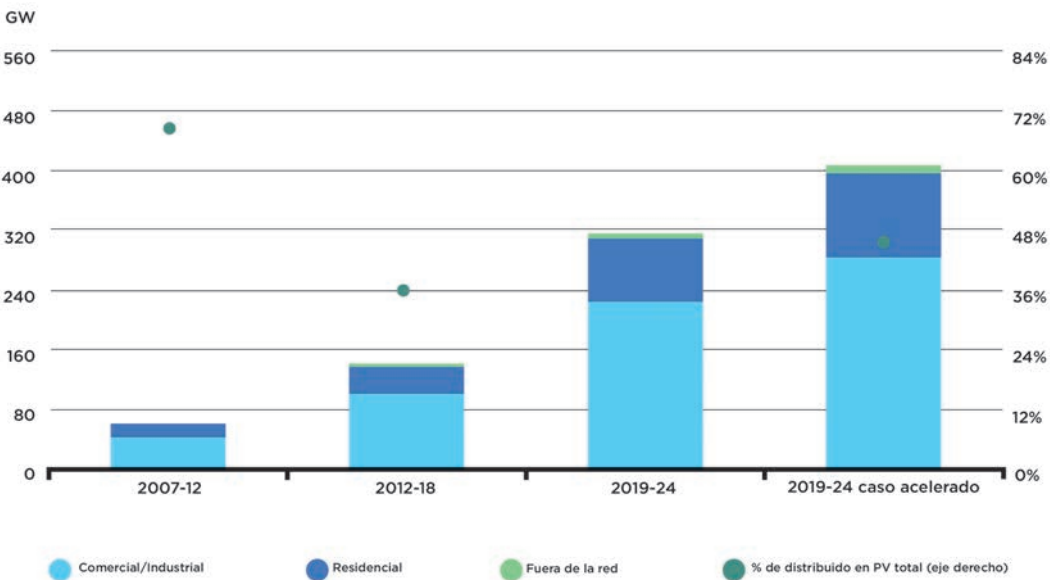
Por años (2019-2024), escenario (crecimiento normal o acelerado) y países seleccionados. Unidades en GW



Fuente: Renewables, 2019. IEA.

Fig. 4 **CAPACIDAD DE CRECIMIENTO GLOBAL EN FOTOVOLTAICA DISTRIBUIDA**

Por segmentos. Datos por años y predicción 2019-2024.



Fuente: IEA, 2019

De acuerdo a las expectativas de la IEA, los productores domésticos aportarán 20 GW anualmente al parque de 58 GW actual hasta alcanzar una capacidad global de 143 GW en 2024. Las instalaciones comerciales e industriales ya poseen esa potencia, pero esta cifra aumentará hasta 377 GW con aportaciones anuales de 40 GW. (Fig. 4)

De nuevo, según la IAE, China será el país donde más crecerán las redes distribuidas en los próximos años, seguida de Estados Unidos. Asia, gracias al apoyo legislativo en Japón y Corea del Sur, será la tercera región más importante en el sector comercial e industrial. Por su parte, Europa ocupará el tercer lugar en desarrollo de autoconsumo distribuido residencial¹³.

En relación a nuestro país, la eliminación del denominado *impuesto al sol* hecha efectiva con la aprobación del RD 15/2018 de medidas urgentes para la transición energética y la protección de los consumidores y el RD 244/2019 de autoconsumo ha allanado el camino de las redes distribuidas en nuestro país¹⁴. Desde ahora, la figura del *prosumidor* tiene dos modalidades de colaboración con la red principal –autoconsumo con o sin excedentes y facturación neta¹⁵–

y un horizonte sin cargas para integrarse en redes comunitarias.

España llega a tiempo esta vez para sumarse a sus socios europeos en estos primeros pasos de las redes distribuidas. A principios de este año entró en vigor el nuevo reglamento del mercado interior de electricidad en el que se abre la puerta explícita del mercado mayorista a los pequeños productores.

Nuestro país puede jugar un papel de liderazgo en la transformación hacia una energía más inteligente. De partida, cuenta con una privilegiada exposición a fuentes de energías renovables y una de las mayores redes de contadores inteligentes del continente europeo¹⁶. Son dos extremos de un sistema que la acción política puede conectar. De un lado, fomentando la inversión en instalaciones fotovoltaicas y eólicas, redes inteligentes y sistemas de almacenamiento de los ciudadanos y empresarios. De otro, levantando barreras de entrada en el sector para la llegada de nuevos y necesarios actores, y facilitando la imprescindible cooperación de los operadores tradicionales. De la coordinación de todos depende que nuestro país ocupe el lugar que debe tener en este nuevo paradigma donde la sinergia es la mejor forma de energía. •

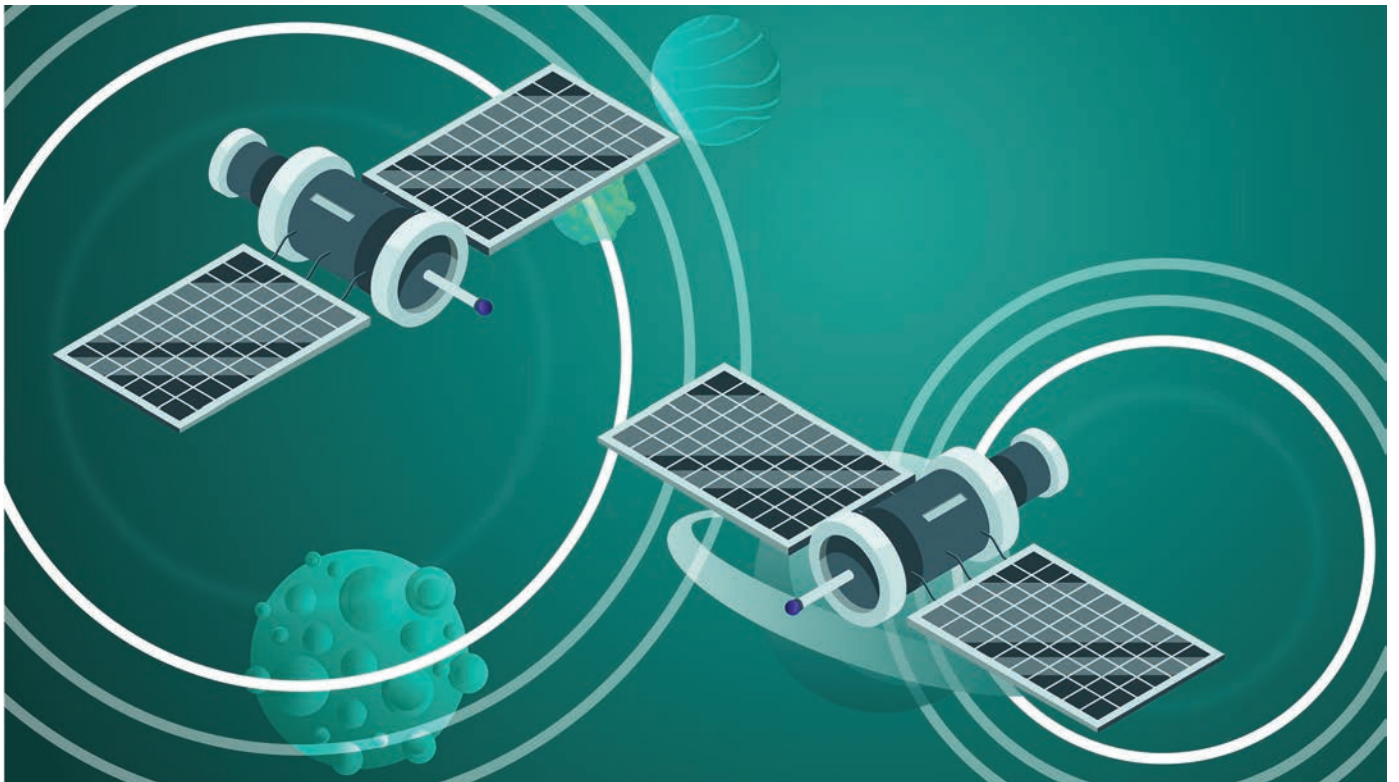
13 *Renewables 2019. Distributed solar PV*. Agencia Internacional de la Energía, 2019

14 *Ahora es el momento del autoconsumo*. UNEF, 2019

15 *idem*

16 *España lidera la instalación de contadores inteligentes de la luz en la UE sin haber analizado sus beneficios*. El diario.es, 2019

Capítulo **7** DATOS DE SATÉLITES PARA TOMA DE DECISIONES





7 DATOS DE SATÉLITES PARA TOMA DE DECISIONES

Explotación y procesamiento de datos de satélites de los grandes sistemas europeos Galileo y Copernicus

JULIO MIRAVALLS

“Si miras desde el espacio ves España, claro, pero no ves fronteras...”, dice Johann-Dietrich Wörner, director general de la Agencia Espacial Europea (ESA), cuyos programas de exploración, observación e investigación cubren ya un amplísimo abanico de actividades espaciales desde su posición de organismo público perteneciente a la Unión Europea, con aportaciones de los países miembros a los diferentes programas según sus propias decisiones. Y es, sin duda, una buena inversión. Según la ESA, cada euro invertido en tecnología espacial retorna una media de 6 euros a la economía global, teniendo además un impacto transversal en todos los sectores industriales y en nuestra sociedad.

A la actividad espacial de carácter institucional se le une ahora el *New Space*, iniciativas privadas que ven oportunidades, con sus propios desarrollos, para aprovechar las posibilidades de negocio del espacio. Un negocio que, hoy, se asienta sobre todo en el campo de las telecomunicaciones pero que emerge también con nuevas perspectivas en muchos otros sectores como la observación de la tierra o los pequeños lanzadores.

La filosofía del *New Space* es la rapidez de ejecución y ahorro de costes. Si falla un lanzamiento, si se pierde un satélite, se reemplaza de inmediato. Por eso todo debe ser barato. Un *low cost* sin astronautas por medio.

En los años inmediatos se multiplicarán las grandes constelaciones de satélites privados. Megaconstelaciones que van desde los 800 hasta 12.000 satélites, ofreciendo conectividad a internet de alta velocidad y

baja latencia en lugares con poca densidad de población donde, por costes, no tiene sentido esperar que llegue la conexión terrestre por fibra óptica.

Este acceso global a Internet de calidad facilitará el acceso a la educación y la transformación digital en todos los sectores de negocio. Por ejemplo, la agricultura de precisión, que, si ya en la actualidad usa información de clima, meteorología, agua y otros datos suministrados por satélites, con la disponibilidad de conexión rápida podrá incorporar a sus cultivos sensores en tiempo real en cualquier lugar del mundo. La disponibilidad de este grado de conectividad puede influir en una redefinición del reparto poblacional.

Junto a esa gran eclosión satelital comercial que emerge con el *New Space*, Europa dispone ya de dos infraestructuras de satélites que ofrecen otro ámbito de desarrollo y grandes posibilidades de negocio desde ahora mismo: los sistemas Galileo y Copernicus de la Unión Europea.

La constelación Galileo, operativa desde diciembre de 2016 y que está previsto sea completamente operacional en 2021, es el sistema de navegación por satélite propio de la Unión Europea, con cobertura global del planeta. Es la primera infraestructura pública de ámbito europeo, no sólo espacial, originada y creada de manera directa por la Unión.

Una infraestructura que, a diferencia del GPS americano, el ruso Glonass y el chino Beidou, es civil y está controlada por las autoridades civiles. Los otros tres grandes sistemas de posicionamiento son militares, con uso dual para fines civiles, y controlados por militares.

Galileo es un sistema planteado para perdurar a largo plazo, decenas de años, lo que otorga estabilidad y perspectivas para las inversiones que se hagan en su ecosistema. Cuando esté operativo al 100% va a ofrecer cuatro tipos de funcionalidades a través de sus 10 señales complementarias: los servicios en abierto, gratuitos, disponibles para posicionamiento de navegadores y todos los aprovechamientos que se puedan desarrollar; el servicio público regulado (PRS), con señales cifradas y acceso controlado para uso gubernamental, incluyendo servicios de emergencia, de seguridad y defensa; los servicios de rescate, para búsqueda y salvamento de personas en peligro; y seguridad aérea, ya disponible para la aviación civil con GPS a través de EGNOS (Servicio Europeo de Navegación por Complemento Geoestacionario), que está previsto incorpore Galileo a mediados de los años 20.

Galileo cuenta con otros dos diferenciadores importantes con respecto a GPS: la disponibilidad muy pronto de un servicio en abierto y gratuito de alta precisión, con resoluciones del orden de 20 centímetros; y un servicio de autenticación de señales en abierto y comercial, permitiendo un posicionamiento robusto y mucho más seguro que GPS.

Estos dos nuevos servicios serán grandes facilitadores

de la transformación digital en industrias tan estratégicas como las asociadas al Internet de las cosas, el sector del automóvil (incluyendo el guiado automático de vehículos), ciudades inteligentes y vehículos aéreos no tripulados (drones o UAVs).

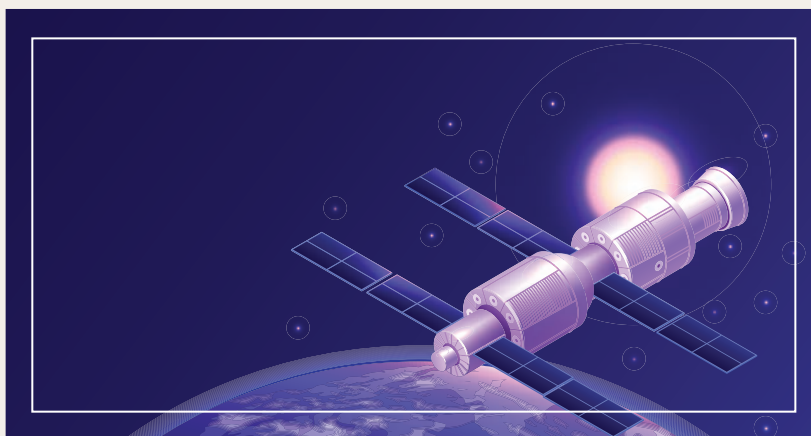
Galileo es un vector muy importante para la economía. Estimaciones actuales de la Comisión Europea

concluyen que un 10% del PIB europeo depende de la disponibilidad de servicios de posicionamiento por satélite. En cuanto al uso actual e inmediato de Galileo, se identifican ya unas 40.000 aplicaciones diferentes, que afectan a todos los sectores de la economía: turismo,

transporte, movilidad, energía, medio ambiente, agricultura, telecomunicaciones... Todos ellos, sectores estratégicos en nuestro país.

Más del 95% de los móviles existentes incluyen hoy navegador por satélite, y desde hace dos años, los principales fabricantes incorporan el sistema europeo ya en sus terminales, habiendo alcanzado en septiembre de 2019 la cifra de 1.000 millones de móviles con Galileo, en solo 34 meses desde el inicio de sus operaciones.

El otro pilar institucional europeo en el campo de las aplicaciones espaciales es el programa Copernicus para observación de la Tierra que es, a día de hoy, el



campo con más crecimiento en la industria espacial. Representa un tercio de los satélites operacionales en órbita. Un 25% del presupuesto global de la Agencia Espacial Europea se dedica a satélites de observación del planeta.

Copernicus se basa en los satélites Sentinel, de los que ya se han lanzado siete y se esperan decenas en las próximas décadas. Los Sentinel son esenciales para la monitorización del cambio climático, permitiendo un análisis global, continuo y fino de nuestro planeta, en todas sus dimensiones. A la vez, Copernicus es un generador extraordinario de nuevas oportunidades de negocio. Suministra varios Terabytes diarios de información, accesibles de forma gratuita, en abierto y en tiempo real, Copernicus es el mayor suministrador de datos satelitales del mundo. Es un filón extraordinario para el desarrollo de actividades de la denominada nueva economía: medidas de vientos para la optimización de parques eólicos; medidas de la irradiación solar para la generación de energía fotovoltaica; análisis de corrientes marinas para la optimización de rutas de navegación... Si los datos son considerados por la economía el nuevo petróleo, desde el espacio está cayendo sobre Europa el petróleo gratis a chorros.

EL PAPEL DE ESPAÑA

España es un país importante en el sector espacial. País fundador de la Agencia Espacial Europea y el quinto en contribución total en Europa espacial. La Comunidad de Madrid es una de las regiones con mayor actividad espacial de Europa (acapara el 90% de la española), con instalaciones en Robledo de Chavela (donde se escuchó el mensaje de Armstrong fracciones de segundo antes que en Houston), Villanueva de la Cañada (ESAC), Torrejón de Ardoz (varios centros), San Martín de la Vega, Getafe, Arganda del Rey...

España está muy bien posicionada para aprovechar el tirón del espacio, y en particular las actividades de Galileo con empresas muy implicadas en su desarrollo y con infraestructuras clave. En Torrejón de Ardoz, integrado en las instalaciones del INTA, está el Centro de Servicio Europeo del programa Galileo, el GSC, que es la oficina que media entre las comunidades de usuarios y el sistema. Un centro clave en el desarrollo de nuevas aplicaciones. Dice Jorge Potti, vicepresidente de la Comisión de Espacio de la asociación de empresas aeroespaciales españolas y responsable del área en GMV, compañía que ha ganado contratos clave en el desarrollo de Galileo, que “debemos avanzar en el desarrollo de programas espaciales nacionales, dentro de un plan estratégico nacional, que permita a la industria dar un salto de calidad”.

Se está instalando en Madrid uno de los dos Centros de Vigilancia de Seguridad de Galileo, el GSMC, trasladado desde la localidad británica de Swanwick ante el Brexit, evitando así que una instalación clave quedase fuera de la Unión Europea. Además, la oficina científica de Galileo de la Agencia Espacial Europea está ubicada en el centro de ESAC y los datos se almacenan también en España.

En cuanto a Copernicus, las aplicaciones que se desarrollan cuentan con abundantes subvenciones y bastantes programas de Horizonte 2020 de la UE se plantean sobre la utilización de sus datos. La decisión de la Unión Europea de que los datos del programa Copernicus sean en abierto y gratuitos, permite maximizar las investigaciones científicas y las oportunidades de negocio.

Galileo y Copernicus encajan perfectamente con los nuevos paradigmas de la globalización y la importancia de la industria de los datos. Son una apuesta segura. •



CON DATOS EN LA MANO

#7 Sistemas satelitales

ANDRÉS VALDÉS

La industria espacial lleva muchas décadas demostrando que no se sostiene con gestas de astronautas ni con cohetes reutilizables, sino que son las necesidades de millones de telespectadores y usuarios de telefonía móvil las que mantienen el ecosistema. Entre el lanzamiento del Sputnik y el del Big Falcon se han colocado en órbita cerca de 5.000 satélites para observar, conectar y transmitir información sobre nuestro planeta. Hoy, cerca de dos millares de ellos nos guían por lugares desconocidos, nos ayudan a predecir el tiempo y garantizan que nadie, por muy remota que sea su ubicación, pueda quedar incomunicado.

La fabricación, lanzamiento y gestión de sistemas satelitales es la principal actividad de la industria espacial. Un ámbito tradicionalmente restringido a presupuestos billonarios y, por tanto, accesible sólo para gobiernos y grandes empresas. Pero, desde principios de este siglo, los emprendedores del sector tecnológico empezaron a señalar las oportunidades que se abren más allá de la exosfera y atrajeron el interés de la iniciativa privada. Ahora las barreras de entrada a la industria aeroespacial son más bajas, la tecnología más avanzada y la necesidad de conocimiento y recursos de las sociedades mayor que nunca. Se habla de *New Space* o nuevo espacio para definir la explotación del exterior de la atmósfera por actores privados, pequeños y ágiles, que complementan la actividad tradicional de gobiernos y universidades¹.

Las constelaciones de satélites para telecomunicaciones, observación y navegación son el estado del arte de esta industria, pero, en torno a ella, y gracias a los avances en técnica de lanzamiento y el abaratamiento de costes, se están fundando numerosas empresas que tienen como objeto el turismo espa-

cial, la minería de asteroides o la manufactura a gravedad cero entre otros muchos mercados verticales que hasta hace poco eran más ficción que ciencia aplicada. No obstante, y pesar de lo sugerente del concepto, el *New Space* debe demostrar todavía que sus propuestas tienen los pies en la tierra: las inversiones en el sector espacial no son tan abrumadoras como las expectativas creadas por los nuevos emprendedores² y el grueso del mercado se mueve por actividades más tradicionales que disruptivas.

Una visión simplificada de los mercados del espacio ofrece cuatro actividades principales: vuelos espaciales tripulados, seguridad nacional, comunicaciones por satélite y análisis de imágenes y datos³. La consultora especializada Bryce opta sin embargo por dividirlos entre satélites y no satélites: los vehículos orbitales concentran el 76% de los 360.000 millones de dólares de facturación de la industria espacial global. Prácticamente la mitad de ese porcentaje se dedica a equipamiento de tierra, especialmente a redes y dispositivos de navegación, mientras la televisión por satélite supone otra importante fracción de 94.200 millones. El sector *upstream* o de provisión tecnológica, centrado en fabricar instrumentos, aparatos y cohetes y realizar lanzamientos, representa una pequeña porción de 25.000 millones. El mercado *downstream*, enfocado en las aplicaciones y servicios de la tecnología espacial, tiene un volumen mucho mayor debido a la enorme utilidad y retorno de inversión que tiene la industria satelital para empresas y gobiernos⁴. (Fig. 1)

Aunque la facturación de la economía espacial crece de forma sostenida desde 2009 y ya dobla los registros de hace una década⁵, los sectores más

¹ Let's talk about NewSpace. Satsearch, 2019

² The Space Economy in Figures. How Space Contributes to the Global Economy. OCDE, 2019

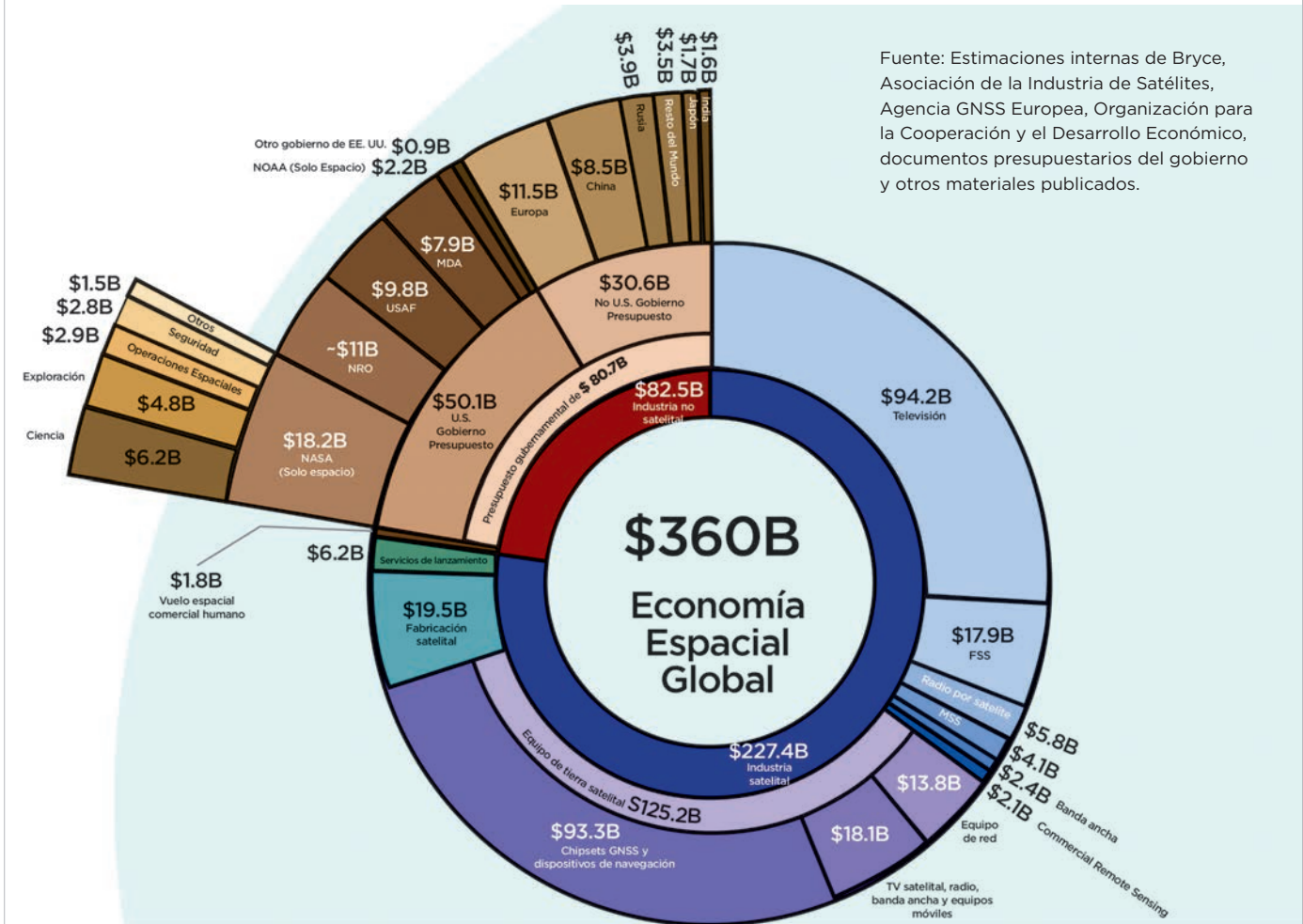
³ An investor's guide to space, Wall Street's next trillion-dollar industry. CNBC, 2019

⁴ Agenda Sectorial de la Industria Espacial Española 2019. TEDAE, 2019

⁵ idem

Fig. 1 LA ECONOMÍA ESPACIAL MUNDIAL EN 2018

Los ingresos de fabricación de satélites incluyen los ingresos totales de fabricación estimados para satélites lanzados en 2018.



novedosos del *New Space* tienen todavía poco protagonismo. Aún así, en 2019, las *start-ups* lograron aumentar su capacidad de atracción de capital con 5.700 millones de dólares y mantener el ritmo inversor sin precedentes adquirido en los últimos años. El 70% de estos fondos respaldaron los proyectos de cuatro empresas: SpaceX, Blue Origin, OneWeb y Virgin Galactic⁶.

La inversión directa e indirecta de los gobiernos ocupa prácticamente todo lo que no es gestión de satélites en la actividad espacial. A través de transferencias a organismos, agencias, universidades y empresas privadas, el dinero público sostiene gran parte de una industria que contempla, a su vez, a los estados como clientes preferentes⁷. Otros ana-

listas sitúan el gasto gubernamental global en actividades espaciales en 79.000 millones de dólares⁸, de los que el 63% se dedica a programas civiles. EEUU mantiene su hegemonía histórica: el presupuesto de su programa representa más de la mitad de la suma de dotaciones estatales. China, Rusia, Francia, Japón y la Unión Europea a través de la Agencia Espacial Europea (ESA) costean, en ese orden, las agendas nacionales más ambiciosas. España, con cerca de 400 millones destinados a actividades espaciales, está dentro de los 15 primeros países de este sector⁹. Esta jeraquía es similar a la de producción científica en campos como astronomía, ingeniería y exploración espacial. En el listado de los países más relevantes por cuota de publicación de artículos en estas disciplinas, España se encuentra entre los diez

6 Start-Up Space: Update on Investment in Commercial Space Ventures. Bryce, 2020

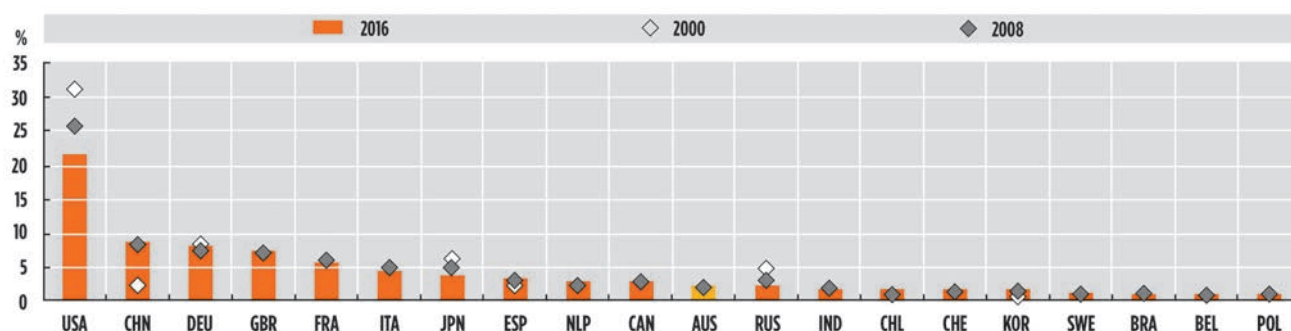
7 idem

8 Global government space budgets continues multiyear rebound. SpaceNews, 2019

9 Global government space budgets continues multiyear rebound. SpaceNews, 2019

Fig. 2 PRODUCCIÓN CIENTÍFICA EN LITERATURA ESPACIAL, POR PAÍS

Porcentaje de publicaciones espaciales totales, 2000, 2008 y 2016.



Fuente: Análisis OFCD basado en datos personalizados de Scopus, Elsevier, julio de 2018.

primeros del mundo, con alrededor de un 4% de la producción global¹⁰. (Fig. 2)

Los satélites ofrecen transmisiones y datos con cobertura mundial a una economía globalizada que avanza hacia la digitalización de todas sus actividades. Esta coyuntura explica que la facturación del sector crezca ininterrumpidamente desde hace más de diez años¹¹. Por funciones, el segmento de las telecomunicaciones es mayoritario en el sector, por lo que gran parte de la flota de 2.000 satélites que ocupan las tres distancias de orbitación alrededor del planeta está dedicada a las comunicaciones comerciales (35%) y gubernamentales (14%). Otro 19% de ellos está diseñado para la agricultura de precisión, la vigilancia de fenómenos atmosféricos y la búsqueda de recursos naturales. Los satélites de uso militar, científico, meteorológico o de investigación y desarrollo facturan entre un 12 y un 2% de los servicios¹².

Los avances que han permitido la reducción del coste y tamaño de los aparatos, así como el abaratamiento en las operaciones de lanzamiento, han facilitado el acceso a las órbitas a operadores de menor tamaño y ampliado los proyectos de los grandes pre-

supuestos¹³. En consecuencia, crecen las expectativas sobre las llamadas constelaciones o enjambres de satélites, concebidos como redes coordinadas de varios artefactos en órbita baja. Al contrario que los grandes satélites estacionados en órbita geosíncrona, las constelaciones aseguran estabilidad y mínima latencia para aplicaciones que dependen considerablemente de la fiabilidad de las transmisiones, como los vehículos autónomos. Estos sistemas compensan la escasa cobertura geográfica de los satélites que operan más cerca de la atmósfera con un mayor número de unidades en vuelo¹⁴. El objetivo de proveer de conexión a internet de banda ancha a cualquier usuario del planeta, sumado a la demanda creciente de soluciones de conectividad ubicua sin depender de costosas infraestructuras terrestres del Internet de las Cosas, empuja la carrera por las constelaciones satelitales¹⁵. (Fig. 3)

Los datos producidos por estas mallas de satélites tienen el potencial de revolucionar también la observación terrestre, la monitorización meteorológica y del cambio climático, y los servicios de posicionamiento y navegación. La colaboración público privada en la difusión y tratamiento de la información

10 The Space Economy in Figures. How Space Contributes to the Global Economy. OCDE, 2019

11 State of the Satellite Industry 2017. SIA, 2017

12 idem

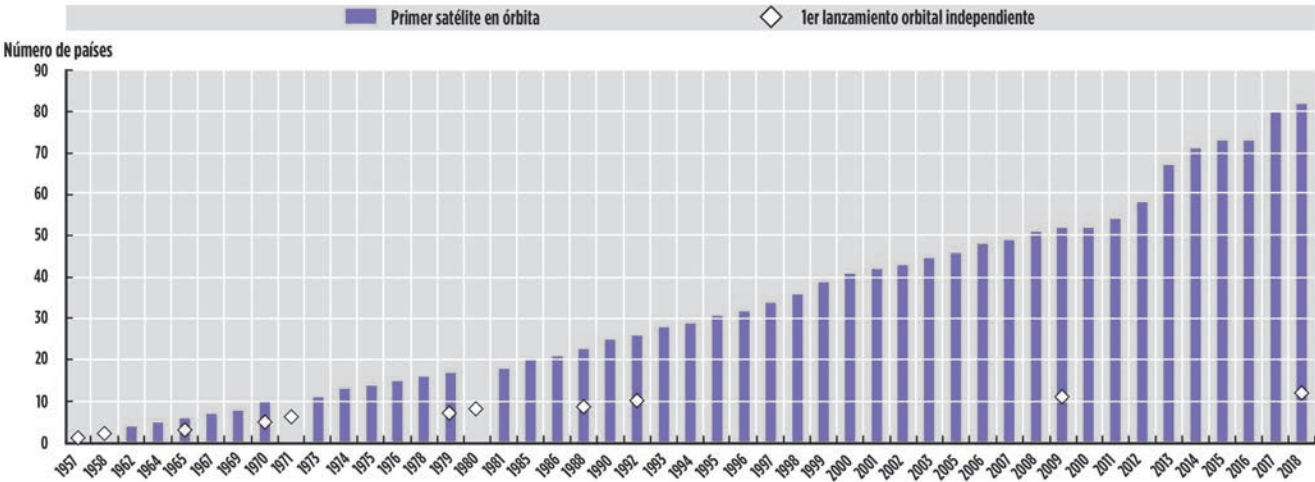
13 The Space Economy in Figures. How Space Contributes to the Global Economy. OCDE, 2019

14 The Era of Satellite Constellations Has Arrived. Engineering.com, 2020

15 idem

Fig. 3 MÁS DE 80 PAÍSES CON UN SATÉLITE REGISTRADO EN ÓRBITA

Número de países con un satélite en órbita (lanzado a través de un tercero o de forma independiente), entre el año 1957 y abril de 2018. Número de países que han lanzado un cohete con éxito.



Fuente: IRENA (2019)

procedente de los satélites y la aplicación de analítica de datos e inteligencia artificial¹⁶ sustentan las iniciativas más tangibles de la nueva economía espacial que mira a la Tierra.

Las tecnologías satelitales comparten un elemento nuclear: la disponibilidad de radiofrecuencias, regulada en un registro que supervisa la Unión Internacional de Telecomunicaciones. La demanda de mayor capacidad del creciente negocio del vídeo por satélite y ecosistemas emergentes como el que inaugura el estándar 5G exigen nuevos acuerdos y regulaciones que garanticen la disponibilidad y seguridad de los espectros¹⁷ a fin de evitar brechas entre usuarios y prácticas desleales entre operadores.

El despliegue de sistemas satelitales está aumentando además la conciencia acerca de los riesgos de ciberseguridad que crecen con ellos. En este sentido, los ordenadores de los centros de control así como los sistemas de los satélites más antiguos presentan vulnerabilidades que pueden ser explotadas debido a su compleja actualización. Además, la cada vez mayor dependencia de sistemas de posicionamiento los convierte en objetivos estratégicos de la ciber-

guerra¹⁸. Entidades como la ESA aplican soluciones criptográficas para blindar Galileo¹⁹ y otros sistemas de ataques de consecuencias nefastas.

Las sondas espaciales tienen un papel fundamental en la monitorización meteorológica y del cambio climático, especialmente en regiones donde no hay otro instrumental de medición disponible. La evaluación de fenómenos asociados al cambio global como las variaciones en el nivel del mar, recesión de glaciares, incendios, concentraciones de gases de efecto invernadero, salinidad y temperatura marina o calidad del aire es el propósito principal de constelaciones como la europea Copernicus²⁰. Desde el año 2005, las agencias espaciales han intensificado la cooperación y los lanzamientos de satélites, especialmente de artefactos pequeños en órbita baja, para evaluar el impacto del cambio antropogénico en la tierra, los océanos, la atmósfera y las capas de hielo del planeta²¹.

Los sistemas satelitales y los proyectos de constelaciones de miles de pequeños satélites plantean tam-

16 The Space Economy in Figures. How Space Contributes to the Global Economy. OCDE, 2019

17 Evolving satellite communications. ITU, 2019

18 Los satélites son vulnerables a ciberataques y están en riesgo de ser hackeados: Chatham House. Xataka, 2019

19 El reto de la española GMV para gestionar y proteger los satélites Galileo. La razón, 2019

20 Programa Copernicus: ¿qué se supone que está haciendo Europa contra el cambio climático? Hipertextual, 2019

21 How satellites are used to monitor climate change. Carbon Brief, 2016

bién importantes desafíos. La gestión de la basura espacial, las interferencias e incluso la saturación orbital que pone en riesgo las trayectorias y los nuevos lanzamientos son algunos de los problemas urgentes que la industria debe abordar para despejar dudas y fomentar inversiones que coloquen al sector a la misma altura que ha puesto sus expectativas.

La industria aeroespacial española se apoya en gran medida en fondos públicos. En la última década, la mitad de los 4.300 millones de euros destinados por el Estado al sector han financiado programas de defensa nacional y proyectos civiles europeos, mientras que otra fracción importante, alrededor del 37%, cubrió la aportación obligatoria a la ESA y algunos proyectos opcionales del mismo organismo²². La agencia comunitaria, responsable de las redes satelitales de posicionamiento Galileo y EGNOS y del programa de observación Copernicus, es el eje principal de la economía espacial en el continente. Los operadores satelitales de propiedad estatal Hispasat, Hisdesat y el Instituto Nacional de Técnica Aeroespacial (INTA) funcionan también como grandes tractores dentro de la industria nacional²³.

España está especializada en el sector *upstream*. De los 867 millones de euros de facturación en 2018 de las empresas de actividades espaciales, 607 se corresponden con la fabricación y lanzamiento de satélites, mientras que los operadores generaron 260 millones. Los principales éxitos económicos privados se producen en el segmento vuelo, con cerca de un 125% de crecimiento en la última década.

El sector cuenta con 3.500 profesionales repartidos en una cuarentena de empresas, la mayoría de ellas de capital nacional. Especialización, innovación y fiabilidad son factores del éxito de este sector, que representa el 0,5% del PIB industrial español y registra una tasa de productividad cuatro veces superior a la

media estatal²⁴. El país fabrica satélites, sistemas de control de tierra, componentes de vuelo, *software* e incluso cohetes reutilizables de gran reputación en el mercado internacional.

Varios hitos recientes confirman la vitalidad de la explotación espacial española. El lanzamiento del satélite espía Paz, construido por Airbus, lanzado en órbita baja por Space X en 2018 y operado por Hisdesat, reunió a 15 empresas y tres universidades españolas en un proyecto que convierte a España en el tercer país europeo en disponer de un artefacto propio de observación terrestre, junto con Italia y Francia. Encomiendas posteriores, como la fabricación del satélite de control de exoplanetas Cheops y la adjudicación de toda la misión a nuestro país por parte de la ESA²⁵, ratifican esta trayectoria ascendente desde la competencia hacia el liderazgo internacional.

Otro logro reseñable es la elección por parte de la CE de las instalaciones del INTA en Madrid como base del centro de vigilancia del programa Galileo, un traslado obligado tras el Brexit en el que la candidatura española se impuso a otras siete ubicaciones europeas²⁶. Paralelamente, GVM, una de las principales empresas del sector a escala global y líder nacional, ganaba el concurso de la ESA para desarrollar el centro de control de esta constelación, localizado en bases alemanas e italianas²⁷. La operación representa el contrato más importante en la historia de la industria espacial española²⁸.

España se encuentra en una excelente posición para diseñar y liderar misiones tanto de observación de la Tierra como de vigilancia espacial²⁹. Todo un logro para un país que ha pasado de ser un mero espectador en la carrera espacial de los años 60 a tener una ingeniería de primer nivel en la era del *New Space*. •

²² Agenda Sectorial de la Industria Espacial Española 2019. TEDAE, 2019

²³ idem

²⁴ La industria espacial española, un referente a nivel europeo. The Objective, 2019

²⁵ idem

²⁶ El sector espacial español se posiciona como líder europeo en 2018. Infoespacial, 2018

²⁷ GMV primes the biggest contract ever signed by Spain's space industry. GMV, 2018

²⁸ idem

²⁹ España aspira a convertirse en una potencia espacial. La Vanguardia, 2019

Capítulo **8** NUEVAS TECNOLOGÍAS

PARA COMBATIR
EL ENVEJECIMIENTO





8 NUEVAS TECNOLOGÍAS PARA COMBATIR EL ENVEJECIMIENTO

Estrategias terapéuticas que frenan el envejecimiento celular

JULIO MIRAVALLS

Un niño que nace hoy en España tiene una esperanza media de vida de 83 años, según datos del Instituto Nacional de Estadística (INE) correspondientes a 2018. La diferencia en el nacimiento entre ser hombre y mujer son más de cinco años: 85,5 años es la esperanza para una chica; 83,2, la de un chico.

Y lo más significativo es la evolución que ha seguido la curva de expectativa de envejecimiento para la población mundial en los últimos 60 años: de apenas 52,5 años de media en 1960, según el Banco Mundial (en España eran 69), a 72,3 años en la actualidad.

Los estudios en el laboratorio permiten afirmar que los procesos moleculares que desencadenan el proceso de envejecimiento del organismo son los mismos que están en el origen de la mayor parte de las enfermedades que azotan los países desarrollados. Esto significa que enfermedades como el cáncer, las enfermedades neurodegenerativas (Alzheimer, Parkinson) y degenerativas en general (fibrosis de varios órganos) se multiplican e intensifican con el envejecimiento de la población. Resulta urgente entender, por tanto, cuáles son las causas moleculares del envejecimiento, para poder realizar avances importantes en el diagnóstico, prevención y curación de las enfermedades del envejecimiento.

El objetivo de establecer estrategias terapéuticas que frenen el envejecimiento tiene un doble factor social.

Por otra parte, una pirámide poblacional en la que

los grupos de edad más numerosos se agregan a partir de los 35 años propone un severo desequilibrio en la capacidad futura de producir recursos para el conjunto de la población si una parte relevante de ese grupo padece dificultades de salud, que reducen o anulan su actividad y autonomía, sometiéndolo a una situación de dependencia.

Según la definición de “gerontotecnología” formulada desde la Universidad de Florida del Sur, para tratar de ofrecer una visión holística de la cuestión, es el área en la que se vinculan todas las tecnologías en desarrollo para satisfacer las necesidades y aspiraciones vitales de los adultos de edades avanzadas. Eso abre un amplísimo campo desde medicina, genética, psicología y sociopolítica, hasta biomateriales, robótica y mecatrónica.

Pero enfocándolo en el terreno de la biotecnología, la referencia se concentra en la investigación sobre la actividad, regeneración y decaimiento de las células que componen los tejidos vivos, y el comportamiento de moléculas y compuestos que pueden interactuar favorablemente con aquellas. O, en sentido contrario, aislar y contrarrestar los elementos cuya interacción causa, favorece, o acelera el deterioro celular.

El trabajo de investigación en el laboratorio debe orientarse a identificar esos factores (telómeros, ADN, ARN..) y los productos (enzimas, vectores genéticos...) o procedimientos que pueden tener efectos favorables sobre ellos, con la posibilidad de generar patentes sobre las que edificar actividades industriales en este ámbito de la salud.



EL PAPEL DE ESPAÑA

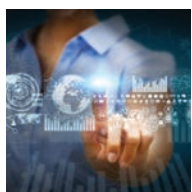
La biotecnología es uno de los campos en los que España invierte en investigación de manera más decidida. Según los últimos datos consolidados por el INE, correspondientes a 2017, absorbe un 12% del gasto interno en I+D español (posiblemente más, si en los dos últimos años se ha parecido el incremento en inversión al 7% que la biotecnología registró en dicho ejercicio).

España tiene centros de investigación y científicos punteros en este terreno, empezando por la actividad de organismos públicos como el Consejo Superior de Investigaciones Científicas (CSIC), del que dependen el Centro Nacional de Biotecnología y el Centro de Biología Molecular Severo Ochoa, y el también público Centro Nacional de Investigaciones Oncológicas (CNIO), además de la actividad en uni-

versidades, parques científicos y organismos dependientes de gobiernos regionales y locales.

En el ámbito privado se pueden identificar empresas muy innovadoras como Biokit, Oryzon Genomics y un largo etcétera, y más de media docena de compañías en este ámbito específico con facturación de ocho cifras. Existe una potente organización española de empresas biotecnológicas, Asebio, con 271 asociados, según sus datos, que incluye ocho multinacionales y seis grandes empresas. El 65% de las empresas se dedica a la biotecnología sanitaria.

Todo ello propone la imagen de un sector más potente y articulado para la actividad industrial de lo que suele ser común en España, con una decidida y necesaria vocación por la inversión en innovación para ser mantenerse en primera línea de competitividad. •



CON DATOS EN LA MANO

8 Nuevas tecnologías para combatir el envejecimiento

CRISTINA MARTÍNEZ

Una cosa es la esperanza de vida y otra, la esperanza de vida saludable. Las investigaciones que se están desarrollando en el campo de la lucha contra el envejecimiento focalizan su mirada en prolongar la vida, pero en mejores condiciones. Vivir más, pero mejor. Con esta máxima, en los últimos años se han desarrollado distintas tecnologías que aspiran a combatir enfermedades asociadas al deterioro físico provocado por la edad.

Si en 2017 la población mayor de 60 años en todo el mundo alcanzaba los 900 millones, se estima que en 2027 serán 1.400 millones y en 2050, 2.100 millones, según el informe Perspectivas de la Población Mundial de Naciones Unidas. Solo en España, tal como recoge el Instituto Nacional de Estadística (2018-2068), dentro de 50 años podría haber más de 15 millones de personas mayores o, lo que es lo mismo, más del 30% de la población total. Sin avanzar en el tiempo ese medio siglo, a día de hoy, España es el cuarto país con la población más envejecida del mundo. Este dato implica que nuestro país registra elevados casos de enfermedades asociadas a la vejez, con lo que esto supone económica y socialmente. De ahí que el desarrollo de tecnologías que combaten el envejecimiento tenga un gran valor para España.

La esperanza de vida es uno de los baremos con los que las sociedades miden el progreso. Son precisamente aquellos países con mayor renta per cápita y mejores servicios sanitarios públicos en los que sus ciudadanos viven más. Pero hay un matiz. Entre las personas mayores de 65 años, las mujeres registran una esperanza de vida mayor que los hombres, tal como recoge la Encuesta de Condiciones de Vida de Eurostat, que se realiza en todos los países de la UE. Sin embargo, la esperanza de vida saludable en las mujeres es menor. Ese es el quid de la cuestión. Si se mide el porcentaje de tiempo que se vive con buena

salud a partir de los 65 años, el contraste entre hombres y mujeres es más patente: el 59% del tiempo que los hombres vivirán desde esa edad hasta su muerte, será en buenas condiciones; mientras que la cifra descende hasta el 48,1% en el caso de las mujeres¹.

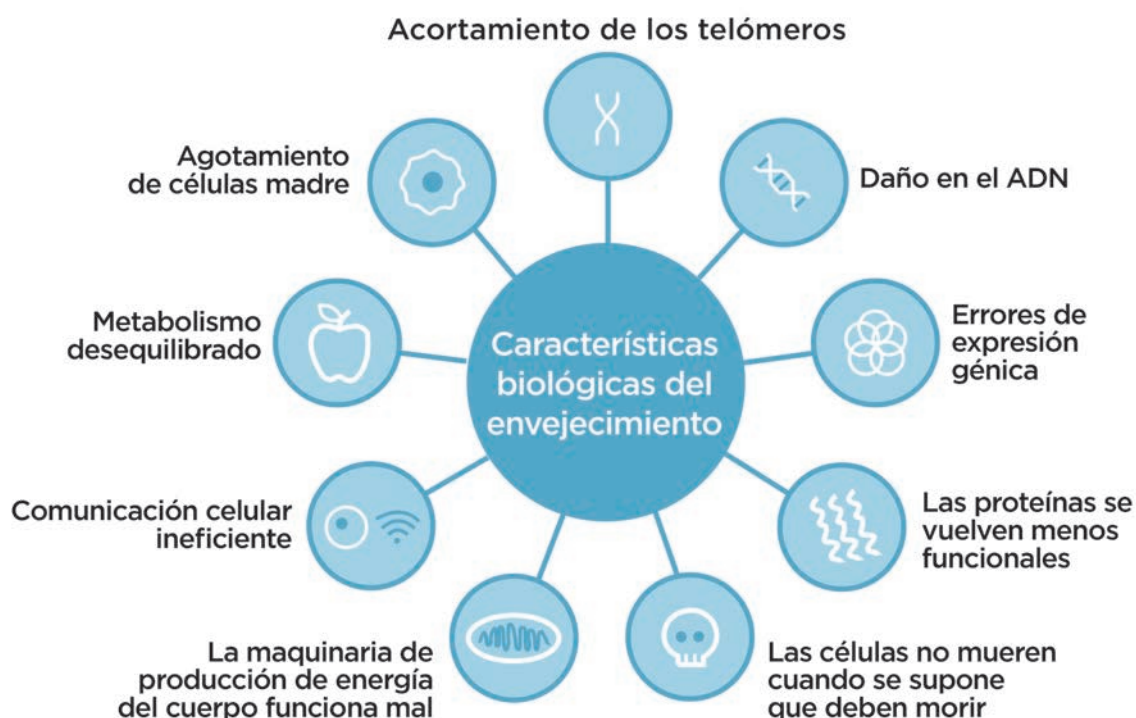
Conseguir elevar esos porcentajes centra las investigaciones que se están desarrollando desde que en los 80, el científico Tom Johnson identificó el primer gen de la longevidad. El envejecimiento supone el deterioro progresivo de la función fisiológica acompañado de un aumento de la vulnerabilidad. Cuando los cambios relacionados con la edad ocurren gradualmente, las personas logran lo que se conoce como “envejecimiento exitoso”, es decir, que los mayores de 60, 70 y 80 años no muestran ninguna enfermedad o discapacidad significativa, mantienen una función cognitiva buena o razonable y tienen una vida activa. Pero el aumento de edad está intrínsecamente relacionado con una serie de enfermedades, como el cáncer, los problemas cardiovasculares, el Parkinson o el Alzheimer.

Hay que distinguir, por tanto, entre la edad objetiva (los años) y la edad biológica o funcional que es la que informa de la edad real de las células y órganos de nuestro cuerpo, y que resulta decisiva en la cuestión de longevidad. Esa edad biológica depende del genoma en un 30% y de nuestro estilo de vida en un 70%.

Un equipo de científicos enumeró lo que llamaron “rasgos distintivos del envejecimiento”², nueve aspectos que recogen los cambios que se producen en el cuerpo en el terreno biológico a medida que sumamos años (Fig. 1).

¹ Un perfil de las personas mayores en España 2020. Envejecimiento en Red. CSIC, 2020
<http://envejecimiento.csic.es/documentos/documentos/enred-indicadoresbasicos2020.pdf>

² The Hallmarks of Aging. Cell, 2013
[https://www.cell.com/fulltext/S0092-8674\(13\)00645-4](https://www.cell.com/fulltext/S0092-8674(13)00645-4)

Fig. 1 **RASGOS DISTINTIVOS DEL ENVEJECIMIENTO**

Fuente: Cell Journal

1. Acortamiento de los telómeros.

Los telómeros son los extremos de los cromosomas y su función principal es proteger el material genético. Cada vez que las células se dividen, las puntas del cromosoma se acortan. Cuando se pierden los telómeros, los cromosomas se vuelven inestables y las células pierden la capacidad de dividirse, lo que puede provocar enfermedades.

2. Daños en el ADN.

Cuando se replica el ADN, es posible que el código no siempre se copie correctamente, es decir, que algunas partes pueden estar mal escritas y algunas secciones pueden insertarse o eliminarse accidentalmente.

3. Errores en la expresión génica.

Los genes comienzan a expresarse cuando no deberían o se silencian por error. Esto significa que algunas proteínas necesarias no se están produciendo, y las proteínas dañinas o innecesarias sí. Los científicos han descubierto que revertir este tipo de errores pue-

de mejorar algunos efectos neurológicos del envejecimiento en ratones, como la pérdida de memoria.

4. Pérdida de funcionalidad de las proteínas.

A medida que envejecemos, nuestros cuerpos pierden la capacidad de eliminar proteínas viejas, que pueden acumularse y volverse tóxicas. Esta acumulación es una de las principales características del Alzheimer, al provocar la pérdida de células nerviosas.

5. Senescencia celular.

Cuando las células sufren estrés y se dañan, a veces dejan de dividirse, pero no se destruyen y se acumulan en los tejidos. Se convierten en células senescentes -conocidas como "células zombis"-, que pueden infectar a otras células cercanas y provocar efectos nocivos para la salud, generalmente inflamaciones.

6. Disfunción en la producción de energía.

La mitocondria es la fuente de energía responsable de regular el metabolismo. A medida que los organismos y sus células envejecen, se vuelven más ineficientes y

disfuncionales. Cuando no funcionan correctamente, pueden producir una forma alterada de oxígeno que puede dañar el ADN y las proteínas.

7. Alteración en la comunicación intercelular.

Las células deben comunicarse constantemente entre sí a través de la sangre y del sistema inmunitario. Pero a medida que nuestros cuerpos envejecen, esa comunicación empeora. Algunas células se vuelven menos receptivas, lo que puede convertirlas en células senescentes que causan inflamación. Con las células incapaces de comunicarse, el sistema inmunitario no puede eliminar eficazmente los patógenos y las células senescentes.

8. Desequilibrio del metabolismo.

Con la edad, las células se vuelven menos precisas para detectar la cantidad de glucosa o grasa que hay en el cuerpo, por lo que no las procesan adecuadamente. Las células que envejecen acumulan una cantidad excesiva de grasas no porque las personas mayores ingieran mucha grasa, sino porque las células no la digieren adecuadamente. Esto puede favorecer la aparición de diabetes.

9. Agotamiento de las células madre.

Las células madre son células que tienen la capacidad de convertirse en otras en nuestro cuerpo. En muchos tejidos, actúan como un sistema de reparación interno, reponiendo las células dañadas o muertas. A medida que los humanos envejecen, las células madre se agotan y se vuelven menos activas, lo que significa que no pueden dividirse tan rápido. El agotamiento de las células madre significa que los tejidos que se supone que deben renovarse en realidad no se renuevan.

INVESTIGACIONES SOBRE ENVEJECIMIENTO

Prolongar la vida manteniendo una buena salud es un campo de investigación en el que los científicos han puesto su foco de atención. Algo que se refleja en la evolución de la producción de publicaciones científicas sobre envejecimiento, que no deja de crecer en todo el mundo. La Unión Europea y Estados Unidos generan alrededor del 69% del total. Y en la UE, las publicaciones en esta área proceden principalmente de cuatro países: Reino Unido, Alemania, Italia, y Fran-

cia, seguidos por España y, un poco por detrás, los Países Bajos.

Aunque la investigación científica para mejorar nuestra longevidad se centra sobre todo en el área de la biomedicina, las publicaciones en torno a este tema también ponen su foco, por este orden, en las ciencias sociales, la tecnología, las ciencias físicas y arte y humanidades.

En artículos relacionados con las ciencias de la vida y la biomedicina, Estados Unidos y la Unión Europea son responsables de casi tres cuartas partes de la producción científica sobre envejecimiento. Le sigue Reino Unido, Alemania, Francia, Países Bajos y España, por encima de países como Suecia, Bélgica, Dinamarca o Finlandia.

EE UU domina también las publicaciones que analizan la prolongación de la vida saludable en el ámbito de las ciencias sociales con un 40 % de la producción mundial (España se sitúa en quinta posición). Sin embargo, es la UE la que encabeza la publicación de textos en los otros campos. En el de tecnología y, dentro de Europa, España ocupa el tercer lugar tras Reino Unido y Alemania (sexto lugar a nivel mundial). Respecto a la producción de publicaciones científicas en torno al envejecimiento en el dominio de las ciencias físicas, la Unión Europea encabeza el ranking, al ser responsable de un tercio de ellas (España se coloca en cuarto lugar). En arte y humanidades, Europa encabeza el listado (el tercer puesto es para España), seguida de Estados Unidos, que suman más del 50% de la producción mundial³.

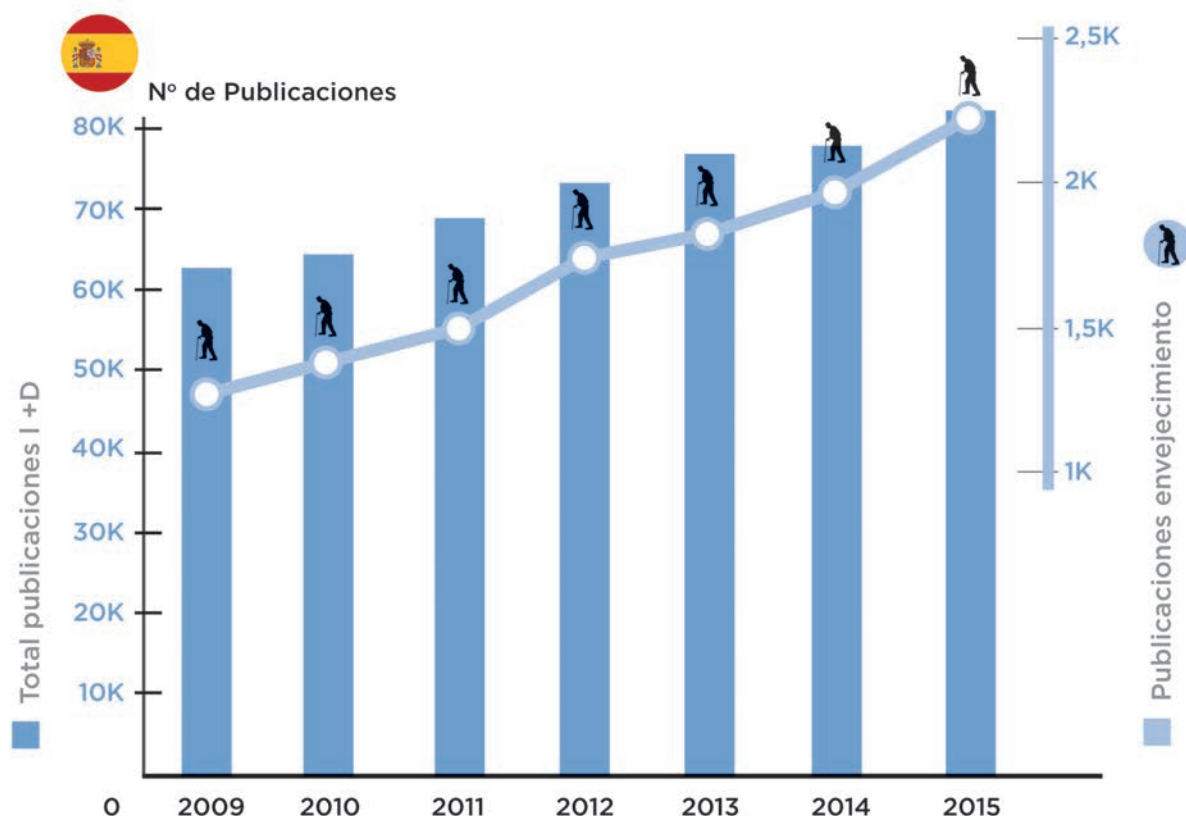
En el caso de España, más del 90% de las publicaciones científicas sobre envejecimiento abordan aspectos relacionados con la biomedicina. En este sentido, destaca la implicación de nuestro país en el tema del Alzheimer. Si uno de cuatro artículos publicados en el mundo sobre este tema está relacionado con esta enfermedad, en España es uno de cada tres. Otro dato interesante es que casi el 40% de los artículos científicos sobre envejecimiento en España se han realizado en colaboración con entidades de otros países. En concreto, uno de cada cuatro fue con algún país miembro de la UE⁴.

³ ¿Cuáles son los focos de investigación sobre envejecimiento? (I y II). EnR. CSIC, 2018
<http://envejecimientoenred.es/cuales-los-focos-investigacion-envejecimiento/>
<http://envejecimientoenred.es/cuales-los-focos-investigacion-envejecimiento-2a-parte/>

⁴ Investigación sobre envejecimiento. Fundación General CSIC, 2017
http://www.fgcsc.es/sites/default/files/informe_sobre_envejecimiento_2016_fgscic.pdf

Fig. 2 PUBLICACIONES CIENTÍFICAS SOBRE ENVEJECIMIENTO

Incremento de los artículos científicos relacionados con el envejecimiento y comparación con el total de las publicaciones I+D entre 2009 y 2015.



Fuente: Web of Science

La Fundación General del CSIC recoge la evolución de la producción española de publicaciones científicas sobre el envejecimiento entre 2009 y 2015⁵. Los datos reflejan una tendencia de crecimiento constante, situándose en un 72%. Lo que se traduce en la publicación de 2.250 artículos durante el 2015 frente a los 1.300 en 2009. Sin embargo, los artículos científicos en conjunto crecieron un 31%. De esto se deduce que en España, durante ese periodo, la producción de artículos en torno al envejecimiento creció el doble que el resto de publicaciones científicas (Fig. 2).

A nivel mundial, la evolución de las publicaciones, del mismo ámbito y en el mismo periodo, presenta un crecimiento sostenido, aunque registra una caída en 2014. El número de artículos pasó de algo menos de 38.000 a más de 56.000, lo que supone un incremento de casi un 50%. Esta cifra baja hasta el 15,35% en el número de artículos en todos los ámbitos de la in-

vestigación. Esto supone que los artículos científicos sobre envejecimiento, en esos años, ha tenido lugar a un ritmo tres veces superior al registrado para el conjunto de las publicaciones científicas en general.

Esta evolución positiva refleja el interés creciente de la comunidad investigadora por los temas relacionados con el envejecimiento. Un interés que supuso, no obstante, tan solo el 2,41% del total de los artículos científicos publicados.

ENSAYOS CLÍNICOS

La relación entre el envejecimiento y las enfermedades relacionadas con la edad se ha convertido en el epicentro de muchas de las investigaciones que se están realizando con el objetivo de alargar la vida en las mejores condiciones. También existe un gran interés en evitar enfermedades degenerativas, sobre todo el Alzheimer y el Parkinson, que tienen una amplia incidencia en la población mayor.

⁵ Análisis de la investigación sobre envejecimiento en España. EnR? Envejecimiento en Red, 1918 <http://envejecimientoenred.es/analisis-la-investigacion-envejecimiento-espana/>

Las investigaciones científicas han afrontado esa lucha contra el envejecimiento a través de terapias farmacológicas, la medicina regenerativa, la restricción calórica y el uso de plasma sanguíneo.

Las terapias basadas en medicamentos⁶ se han desarrollado a partir de senolíticos, que se dirigen a las células envejecidas y las destruyen; la rapamicina, que son compuestos de origen natural multifuncionales por sus efectos sobre células inmunes, y la metformina, que se usa principalmente para tratar la diabetes tipo2. Algunos de ellos, se están probando actualmente en la lucha contra la COVID-19.

En cuanto a la medicina regenerativa se realiza con células madre y se ha convertido en una de las áreas más prometedoras, con la regeneración de órganos o la bioimpresión 3D de tejidos y órganos.

Las investigaciones sobre la restricción calórica indican que cuanto más combustible tienen que quemar las mitocondrias, más radicales libres generan. Los daños que causan, acumulados a lo largo del tiempo, son los que terminan provocando que el cuerpo se deteriore con el paso de los años, es decir, que envejezca. Sin embargo, pese a los ensayos que relacionan el consumo de calorías y la ralentización del envejecimiento, el Instituto Nacional sobre el Envejecimiento de EE UU advirtió en 2018⁷ que, aunque algunos estudios indican que la restricción calórica puede tener beneficios para la salud en humanos, no existen datos que demuestren su vínculo con la longevidad.

El uso de plasma sanguíneo provoca todavía controversia y recelo en la comunidad científica. Prueba de ello es la polémica Ambrosia, clínica donde los pacientes pueden pagar hasta 8.000 dólares para obtener plasma sanguíneo de jóvenes. El ensayo clínico acabó en enero de 2018, pero nunca se llegaron a publicar los resultados. No obstante, otro caso distinto es el de la farmacéutica Grifols, con sede en España, que desarrolla terapias derivadas de plasma sanguíneo contra el deterioro cognitivo y trastornos neurodegenerativos.

En todas estas vertientes, el creciente número de en-

sayos clínicos indica el interés que genera la investigación sobre el envejecimiento (Fig. 3).

La investigación sobre longevidad ha experimentado un aumento muy importante, especialmente a medida que aprendemos más sobre los procesos biológicos que causan el envejecimiento. Pero al mismo tiempo, se ha extendido a otros campos de investigación centrados en enfermedades que se manifiestan más en esa franja de edad. Por ejemplo, hay una mayor probabilidad de mutaciones genéticas letales a medida que uno envejece que pueden provocar enfermedades como el cáncer o el Alzheimer.

En el caso del cáncer, debido a que la edad media para un diagnóstico es de 66 años, comprender la patología de la enfermedad podría revelar nuevos conocimientos sobre qué mecanismos influyen en el envejecimiento.

Precisamente con este fin, un equipo que lidera la directora del CNIO, (Centro Nacional de Investigaciones Oncológicas), María Blasco, acaba de recibir 2,5 millones de euros del Consejo Europeo de Investigación (ERC), dentro de las ayudas ERC Advanced Grant, para desarrollar el proyecto "Shelterins". Esta investigación tiene como objetivo conocer mejor el papel de las proteínas shelterinas (que forman el escudo protector de los telómeros) en el cáncer, con el objetivo de anular la capacidad de los tumores para dividirse de manera infinita, lo que deja a los telómeros sin protección. El estudio permitirá estudiar de manera indirecta el papel de los telómeros en el cáncer, ya que las células cancerígenas son capaces de mantener sus telómeros intactos, es decir, que no envejecen.

El pasado mes de marzo, un equipo del CNIO, daba a conocer los resultados de un ensayo con rapamicina que dejaba patente que esa proteína retrasa el envejecimiento de los ratones sanos, pero favorece la aparición y gravedad de otras enfermedades y envejece a los ratones con telómeros cortos⁸.

Un año antes, el centro dirigido por María Blasco había creado los primeros ratones nacidos con telómeros mucho más largos de lo normal, de manera que vivían un 13% más y con mejor salud, sin padecer cáncer ni obesidad. Esta investigación demostraba así

6 The Future Of Aging. The New Drugs & Tech Working To Extend Life & Wellness. CBinsights, 2018

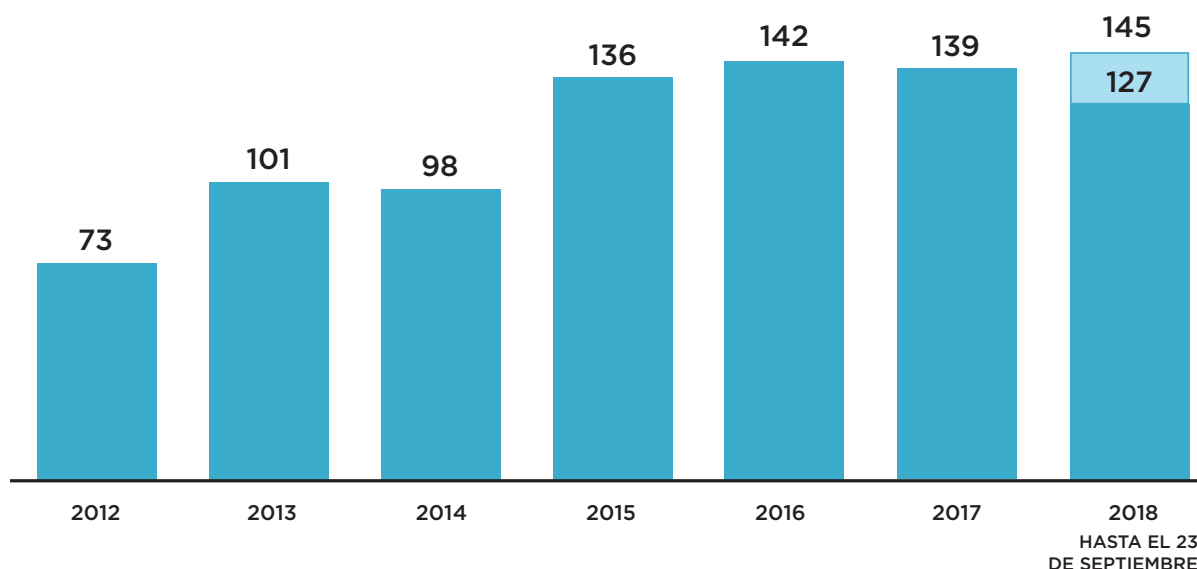
<https://www.cbinsights.com/research/report/future-aging-technology-startups/>

7 Calorie Restriction and Fasting Diets: What Do We Know? National Institute on Aging, 2018
<https://www.nia.nih.gov/health/calorie-restriction-and-fasting-diets-what-do-we-know#what>

8 The mTOR pathway is necessary for survival of mice with short telomeres. Nature Communications, 2020
<https://www.nature.com/articles/s41467-020-14962-1>

Fig. 3 ENSAYOS CLÍNICOS SOBRE ENVEJECIMIENTO

Crecimiento de los ensayos clínicos en torno al envejecimiento entre 2012 y 2018.



Fuente: cbinsights.com

Datos tomados de ClinicalTrials. Azul claro indica que los ensayos están programados para comenzar en 2018 pero que aún no han comenzado

Fuente: Clinicaltrials.gov

la relación entre la velocidad de acortamiento de los telómeros y la longevidad.

Los ensayos clínicos con metformina, medicamento contra la diabetes tipo 2, también han aumentado en los últimos años por sus efectos para promover un envejecimiento saludable. De hecho, hay más de 1.500 ensayos clínicos registrados para evaluar sus efectos en la lucha contra el deterioro por la edad. Uno de los últimos estudios ha sido realizado por el Instituto Salk de Estudios Biológicos, el Instituto de Investigación Scripps y el Colegio Médico Weill Cornell en Nueva York⁹.

UN MERCADO AL ALZA

Demostrada la relación entre el proceso de envejecimiento y las enfermedades relacionadas con la edad, los potenciales beneficios que la investigación científica pueden proporcionar incluyen no solo la posibilidad de garantizar una mejor vida sino también una oportunidad económica importante. El mercado

global de terapias de longevidad y antisenescencia (proceso por el cual las células dejan de dividirse irreversiblemente y entran en un etapa de detención permanente del crecimiento) crecerá de los 329,8 millones de dólares en 2018 a los 644,4 millones en 2023, con una tasa de incremento anual estimada del 14,3% durante este periodo¹⁰.

Respaldados por gobiernos, empresas, académicos e inversores en una industria global valorada en 110.000 millones de dólares, y con un valor estimado de 610.000 millones para 2025, los científicos están aprovechando el poder de la genómica y la inteligencia artificial para extender nuestra esperanza de vida y la salud.

Por ejemplo, en el Reino Unido, hay 260 empresas, 250 inversores, 10 organizaciones sin fines de lucro y 10 laboratorios de investigación que están utilizando las tecnologías más avanzadas en la búsqueda de una vida más larga y mejor. Tanto es así, que el gobierno incluso ha incluido la longevidad dentro de

⁹ Study reveals how diabetes drug promotes healthy aging. Medical News Today, 2019
<https://www.medicalnewstoday.com/articles/327232>

¹⁰ Global Longevity and Anti-senescence Therapy Market. BBC Research, 2019
<https://www.bccresearch.com/market-research/biotechnology/global-longevity-and-anti-senescence-therapy-market-report.html>

los cuatro grandes desafíos de la estrategia industrial del país¹¹. Y en EE UU, según las estimaciones, conseguir un aumento de la esperanza de vida saludable de 2,2 años, generaría un ahorro de 7 billones de dólares en 50 años¹².

Los últimos tres años han sido definitivos también para el despegue del mercado inversor en *startups* destinadas a investigaciones dirigidas a conseguir envejecimiento saludable. Si 2017 fue un año en el que la inversión en *startups* enfocadas a este sector se disparó, en 2018 se registró una financiación récord, cercana a los 800 millones de dólares¹³. Además están surgiendo nuevas empresas que dedican sus medios a investigar para aumentar la longevidad.

El mercado laboral también se ve afectado por el impacto de estas investigaciones. Como ejemplo, el Programa para una Sociedad Longeva, un consorcio hispano-portugués al que pertenece la Fundación General CSIC, que ha abierto un proceso de contratación de trabajos de I+D+i sobre longevidad en fase de demostración.

España, como en todos los ámbitos de la investigación, tiene la oportunidad de escalar puestos en el ránking de países en torno a los avances científicos sobre el envejecimiento saludable, dado que registra uno de los índices más elevados de población mayor de 65 años. La inversión en ensayos e investigaciones en este campo supone no solo una mejora laboral en el sector científico sino también el avance por un camino con repercusiones en la salud de los mayores, al alargar y mejorar el transcurso de su vida con una salud aceptable, pero también a nivel económico y social, en un país que ocupa el cuarto lugar del mundo en envejecimiento de la población.

La medicina personalizada, como una metodología para ofrecer el tratamiento correcto a cada paciente en concreto, teniendo en cuenta su perfil genético, las patologías que padece o sus condiciones de vida, se muestra como un camino que ya se ha abierto en

nuestro país. Como reto de futuro, España tiene la oportunidad de invertir en la búsqueda de tratamientos personalizados y también de fármacos enfocados a las dolencias de una sola persona. Eso supondrá una potente herramienta para mejorar la efectividad, evitar efectos secundarios y racionalizar el gasto sanitario, sobre todo en su aplicación a la población mayor de 65 años que aumenta año tras año.

Y otra oportunidad se centra en el turismo de salud -que engloba el turismo médico y el turismo del bienestar-, para el que España cuenta con grandes fortalezas aunque, de momento, no se refleje en los datos de un país que el año pasado recibió 83,7 millones de turistas extranjeros, que registraron un gasto de 92,278 millones de euros¹⁴.

De hecho, España se ha colocado en el sexto lugar como país más visitado por los europeos que optan por el turismo de salud, y ocupa el octavo puesto a nivel mundial, según el Instituto para Desarrollo e Integración de la Sanidad (IDIS). Aunque las previsiones se han dado la vuelta debido al coronavirus, este año se esperaban 140.000 visitantes que aprovecharían sus vacaciones para someterse a tratamientos de salud e intervenciones médicas en centros privados de nuestro país, lo que supondría unos ingresos de alrededor de 1.000 millones de euros¹⁵.

Si en 1900 la esperanza de vida en España era de 34,8 años y en 2017, de 83,1 años, según el Instituto Nacional de Estadística, en 2050 se estima que será de 87,3 años, con una población mayor de 65 años que alcanzará los 15,7 millones frente a los 9,1 millones del pasado año¹⁶. Ese aumento en las perspectivas vitales de la población supone un reto para las familias, para los servicios sanitarios y para los responsables políticos de nuestro país, pero también para la ciencia y las investigaciones centradas en combatir el envejecimiento y las enfermedades que conlleva. •

11 Scientists harness AI to reverse ageing in billion-dollar industry. The Guardian, 2019
<https://www.theguardian.com/science/2019/dec/21/scientists-harness-ai-to-reverse-ageing-in-billion-dollar-industry>

12 The Business of Anti-Aging Science. Cell, 2017
[https://www.cell.com/trends/biotechnology/fulltext/S0167-7799\(17\)30171-3](https://www.cell.com/trends/biotechnology/fulltext/S0167-7799(17)30171-3)

13 The Future Of Aging? The New Drugs & Tech Working To Extend Life & Wellness. CBInsights, 2019.
<https://www.cbinsights.com/research/report/future-aging-technology-startups/>

14 Estadística de Movimientos Turísticos en Fronteras (FRONTUR). INE, 2020
<https://www.ine.es/daco/daco42/frontur/frontur1219.pdf>

15 Turismo de salud con marca España. Instituto para el Desarrollo e Integración de la Sanidad (IDIS), 2016
<https://www.fundacionidis.com/sala-prensa/notas-de-prensa/turismo-de-salud-marca-espana>

16 Envejecimiento en cifras. España. Envejecimiento en Red. FGCSIC, 2020
<http://envejecimientoenred.es/envejecimiento-en-cifras-espana/>

Capítulo **9** **ENERGÍAS** R E N O V A B L E S





9 ENERGÍAS R E N O V A B L E S

Almacenamiento a gran escala

JULIO MIRAVALLS

Los combustibles, sólidos (madera, carbón), líquidos o gaseosos, son relativamente fáciles de almacenar y transportar y se puede administrar su consumo en el momento en que son necesarios. Son bastante amigables, en ese sentido. La electricidad, por el contrario, tiene una particularidad: se ha de consumir en el momento de producirla o se perdería, se disiparía.

Por supuesto, esta afirmación es una forma exagerada de expresar el gran conflicto de la generación de electricidad, que necesita estar ajustando continuamente la producción a la demanda, evitando que se pierdan excedentes. Para ello se recurre a las centrales de generación con combustibles fósiles o a las hidroeléctricas, cuando hace falta añadir más energía a discreción al sistema, de manera gradual, y las renovables y nucleares no tienen margen para hacerlo.

La electricidad es una fuente de desarrollo, indispensable para muchas de las tecnologías del futuro (electrificación del transporte, electrodomésticos, bomba de calor...). Pero hay un problema: la generación de energía eléctrica supone en la actualidad el 40% de las emisiones de CO₂ a nivel mundial. Las tecnologías que parecen clave en el futuro para aportar soluciones más respetuosas con el medioambiente dependen de la electricidad, y el balance final no puede excluir las emisiones producidas por la generación de esa energía, que en gran medida depende aún del carbón y el gas (China, India, Alemania, Australia incluso España).

Los sistemas eléctricos necesitan articular un mix de generación para mantener un equilibrio en la disponibilidad, incluyendo todos los tipos de centrales, con combustibles fósiles, nuclear y renovables (incluida hidroeléctrica).

La solución más deseable, desde el punto de vista medioambiental, son las fuentes de energía renovable (en el proceso de producción eléctrica no generan CO₂, causante del efecto invernadero) y también desde consideraciones económicas (no hay que pagar por el aire y el sol, como materias primas, igual que se hace por el petróleo y el gas, aunque también tienen un coste por su integración en la red de distribución).

Pero esta opción tropieza con un inconveniente hasta ahora insalvable: el viento sopla cuando toca, no cuando hace falta. Y el Sol se puede nublar y, con toda certeza, se retira por la noche, precisamente cuando más falta hace electricidad para iluminación. Se pueden hacer estimaciones estadísticas sobre horas de luz y de viento al año, para decidir los emplazamientos con mejores rendimientos, pero asumiendo en todo caso que la generación es intermitente y sujeta a factores imposibles de controlar.

La fórmula para obtener el máximo rendimiento y flexibilidad de las energías renovables es aplicar inteligencia a las curvas de consumo, para desplazarlas y ajustarlas en lo posible, e integrar mecanismos de almacenamiento masivo para llegar a esa última parte de la curva, imprescindibles a medida que se pretenda una alta penetración de renovables.

La solución deben ser baterías o hidrógeno. Baterías que guarden los excedentes en momentos de máxima producción para distribuirlos cuando no se puede generar. O aplicar ese exceso de producción de electricidad a la obtención de hidrógeno, que se convierte en una fuente de energía almacenable, con diversas posibilidades de uso.

La tecnología de las baterías es uno de los grandes retos para la ciencia y la ingeniería. Precisamente acaban de ser galardonadas con el premio Nobel de Química las tres personas que desarrollaron la batería de ion-litio, base del desarrollo actual de toda clase de dispositivos móviles, desde un ligero *smartphone* o unos auriculares inalámbricos, hasta los coches eléctricos.

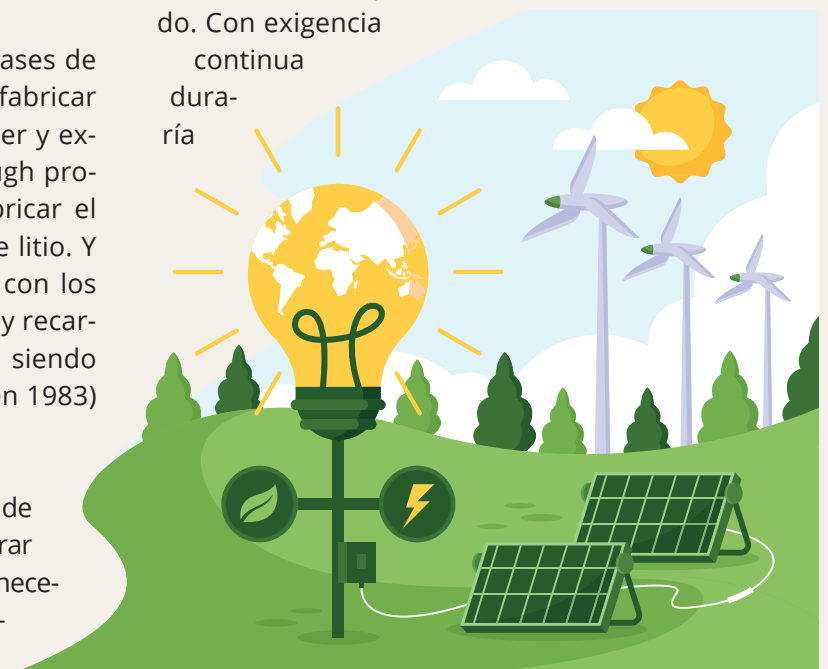
El británico Stanley Whittingham, puso las bases de la investigación usando litio metálico, para fabricar una batería que tenía cierta tendencia a arder y explotar. El estadounidense John B. Goodenough probó diferentes elementos químicos para fabricar el cátodo (polo negativo) con óxidos e iones de litio. Y finalmente el japonés Akira Yoshino acertó con los materiales para diseñar una batería potente y recargable, viable para su explotación comercial, siendo reconocido como el inventor (y patentador en 1983) de la tecnología que hoy sigue en uso.

La siguiente fase ha de ser escalar la capacidad de las baterías, para cargar, conservar y administrar las cantidades de energía que puedan cubrir las necesidades de industrias y núcleos de población durante determinados periodos de tiempo.

Para ello, como señala Yoshino, empeñado ahora en mejorar las baterías para el coche eléctrico, es necesario no sólo hallar nuevas soluciones en materiales y tecnología de las pilas, sino replantearse estrategias: “La solución no llegará simplemente de la industria de baterías, sino con la mezcla de otras tecnologías como la inteligencia artificial, internet de las cosas... Cuando se combinen adecuadamente ofrecerán la solución natural”.

Conviene subrayar que los tiempos de funcionamiento de dispositivos con energía almacenada a los que estamos acostumbrados son engañosos: un móvil puede estar en uso a lo largo de toda una jornada porque los tiempos en los que está a pleno rendimiento se van espaciando. Con exigencia

continua
dura-
ría





unas pocas horas. Un coche con motor de combustión puede repostar habitualmente cada una o dos semanas, porque también el uso cotidiano está limitado a periodos relativamente cortos. Cuando sale a carretera para un viaje largo lo normal es tener que repostar al cabo de seis u ocho horas de marcha...

La clave genérica para responder solventemente a las necesidades planteadas es hallar un equilibrio entre la capacidad de almacenamiento de energía (sea del tipo que sea), su duración en uso según el requerimiento de consumo y la capacidad y velocidad de recarga del sistema.

Hay propuestas para desarrollar la batería de flujo, basada en dos electrolitos con diferentes compuestos químicos y separados por una membrana, que intercambian iones buscando equilibrar su estado de carga, lo que permite alternativamente introducir o extraer electricidad.

Otra opción es continuar explorando las posibilidades del actual modelo de ion-litio. O buscar fórmulas para sustituir los elementos que la componen por otros materiales que mejoren la eficiencia del proceso y no depender del litio y el cobalto, que lo limitan y encarecen. El cobalto, polémico como materia prima, procede mayoritariamente de la República Democrática del Congo. El litio, el metal más liviano, se obtiene de salmueras y las mayores reservas están en Chile, Argentina, Bolivia y China. La competición está abierta.

EL PAPEL DE ESPAÑA

Encontrar nuevas soluciones de almacenamiento masivo para la electricidad requiere un esfuerzo combinado de equipos interdisciplinarios que combinen investigación de laboratorio sobre materiales y procesos químicos, ingeniería, diseño y aplicaciones.

En España hay compañías investigando opciones relacionadas tanto con sustituir los materiales de la batería actual, usando combinaciones litio-azufre y litio-aire, como nanomateriales a partir de grafeno. Este ya se usa en baterías de ion-litio, para hacer electrodos, aunque el objetivo más ambicioso es desarrollar un nuevo tipo con celdas de polímero de grafeno. Incluso, un paso más allá, se investiga en laboratorios españoles un nanofluido electroactivo de grafeno, que al ser líquido podría repostarse de manera similar al funcionamiento de las gasolineras.

Los expertos subrayan la paradoja de que, siendo España un país destacado en la fabricación de automóviles, no tiene ninguna capacidad para fabricar las baterías que necesita el coche eléctrico. Un elemento clave para el futuro de la industria.

El desarrollo de almacenamiento eléctrico masivo, para llevar las renovables al máximo aprovechamiento en el mix energético, adquiere una perspectiva de interés todavía mucho mayor. •



CON DATOS EN LA MANO

#9 Nuevos sistemas más allá del litio

ANDRÉS VALDÉS

Las nuevas tecnologías de almacenamiento de energía y en especial las baterías de ion-litio son uno de los elementos más disruptivos del nuevo modelo eléctrico basado en renovables y abierto a redes distribuidas. Son el eslabón necesario para concatenar la posibilidad de producir energía limpia y renovable y la necesidad de disponer de ella ininterrumpidamente. De esta manera, los sistemas de almacenamiento pueden aportar potencia suplementaria durante las sobrecargas de red y garantizar la estabilidad general del sistema eléctrico. Esta funcionalidad ahorra costes¹, evita fallos de servicio² y, por tanto, es clave para

el desarrollo de las renovables³ ya que facilita el abandono progresivo de los combustibles fósiles como apoyo durante los picos de demanda de generación. Al otro lado del contador, al igual que en redes aisladas, las baterías domésticas y comerciales completan la rentabilidad de las instalaciones de autoconsumo⁴. Y en la calle, los vehículos eléctricos reclaman su lugar como fuente de energía en el paradigma de micro-redes: en 2050, más de la mitad de la capacidad de almacenamiento global estará alojada en las baterías de su chasis⁵. (Fig. 1)

1 *Utility-Scale Batteries. Innovation Landscape Brief*. Agencia Internacional de la Energía Renovable (IRENA), 2019

2 *idem*

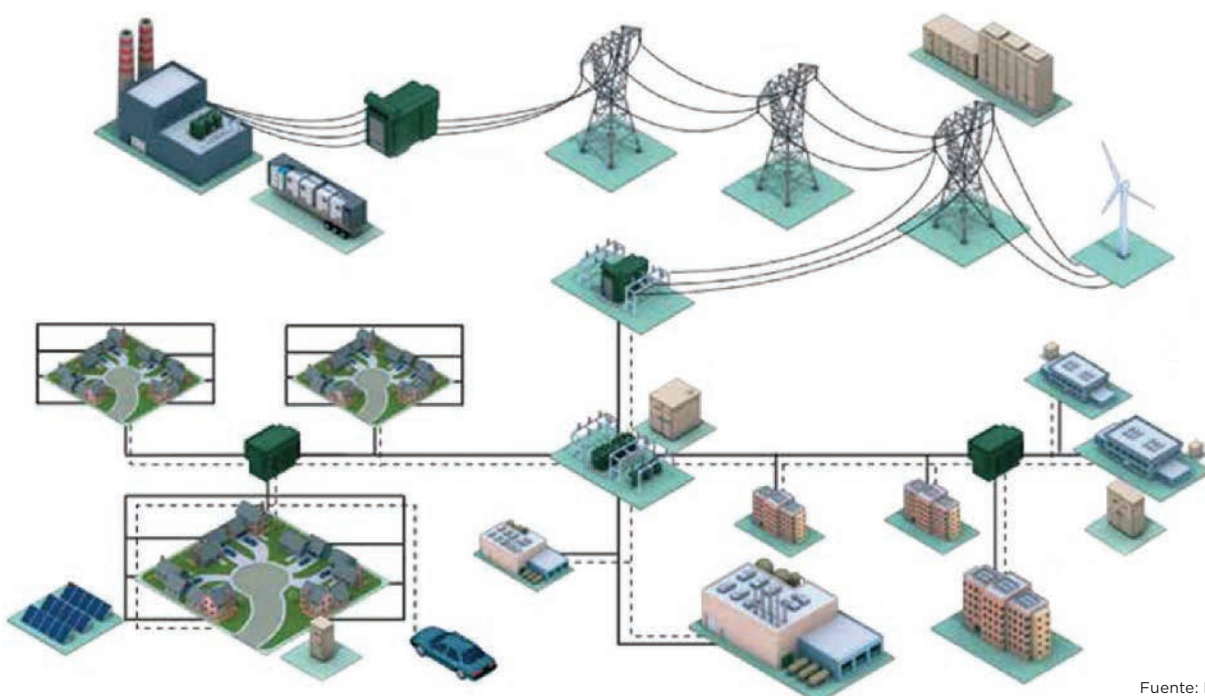
3 *Renewables 2019. Global Status Report*. REN21, 2019

4 *Utility-Scale Batteries. Innovation Landscape Brief*. Agencia Internacional de la Energía Renovable (IRENA), 2019

5 *Electricity Storage and Renewables: Costs and Markets To 2030*. Agencia Internacional de la Energía Renovable (IRENA), 2017

Fig. 1 SISTEMAS DE ALMACENAMIENTO EN LA RED ELÉCTRICA

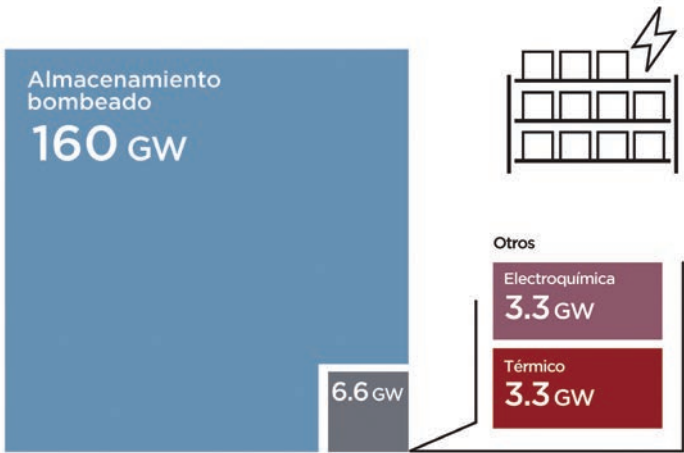
Ubicación y aplicaciones de baterías de diferente escala en redes distribuidas.



Fuente: IRENA, 2017

Fig. 2 **CAPACIDAD GLOBAL DE SISTEMAS DE ALMACENAMIENTO DE GRAN ESCALA**

Hidroeléctrica de bombeo, baterías electroquímicas y almacenamiento térmico.



Nota: Los números no deben compararse con versiones anteriores de esta cifra para obtener aumentos anuales, ya que algunos ajustes se deben a datos mejorados o revisados. Se ha excluido la categoría de almacenamiento electromecánico debido a la disponibilidad limitada de datos globales.

Fuente: REN21, 2018

La necesidad de almacenar electricidad en distintos escenarios (doméstico, industrial, transporte y en la red) ha dado lugar a numerosos sistemas con este fin. A escala global, las estaciones hidroeléctricas de bombeo son el principal recurso de los sistemas para preservar el excedente de producción de aerogeneradores y paneles solares. El 96% de toda la capacidad de almacenaje energético mundial es, a día de hoy, agua embalsada (Fig. 2) que se recupera como energía hidroeléctrica. Así, las también llamadas centrales hidroeléctricas reversibles reservan a día de hoy alrededor de 160 GW repartidos por los sistemas energéticos de todo el mundo⁶. Requieren grandes cantidades de capital y terreno, pero siguen siendo estratégicas para el sector por capacidad y vida útil como prueba la inversión de 1.500 millones de euros realizada por Iberdrola en la central de Tâmega, Portugal. España, con alrededor de 8 GW, es el cuarto país con mayor desarrollo del almacenamiento por bombeo⁷.

Es en el pequeño 4% restante donde se concentra el potencial de crecimiento del sector. Los 3,3 GW instalados en sistemas electroquímicos -10, según otros informes⁸- ofrecen flexibilidad y adaptabilidad al recurso que complementan, bien se trate de centrales de generación, redes de transmisión y distribución eléctrica⁹ o redes remotas.

El mercado de las baterías electroquímicas, tanto a gran escala como en soluciones para usuario final, está dominado por los sistemas de iones de litio y lo seguirá haciendo durante los próximos años. Esta tecnología de almacenamiento ofrece una gran densidad energética y ha experimentado un importante descenso en su coste de fabricación debido a la rentable investigación en baterías para vehículos eléctricos. (Fig. 3)

6 Renewables 2019. Global Status Report. REN21, 2019

7 Electricity Storage and Renewables: Costs and Markets To 2030. Agencia Internacional de la Energía Renovable (IRENA), 2017

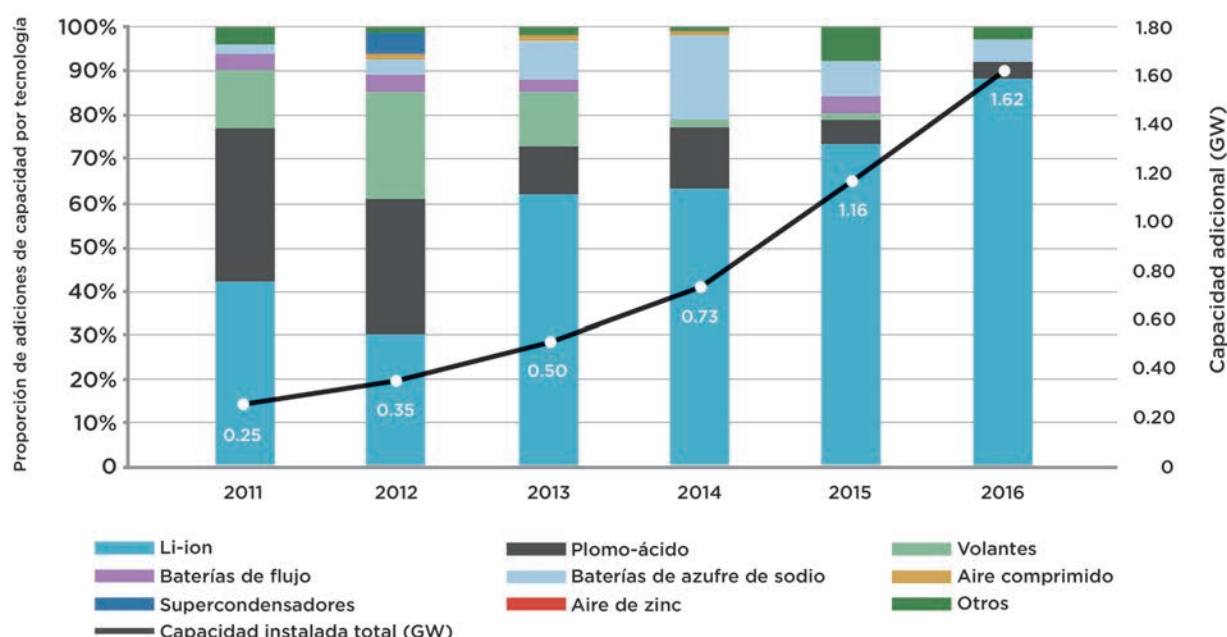
8 Utility-Scale Batteries. Innovation Landscape Brief. Agencia Internacional de la Energía Renovable (IRENA), 2019

9 idem

Fig. 3 EVOLUCIÓN DE LAS PRINCIPALES TECNOLOGÍAS DE ALMACENAMIENTO ELECTROQUÍMICO

Capacidad global añadida por tipo de tecnología y año .

Utility-Scale Batteries. Innovation Landscape Brief. Agencia Internacional de la Energía Renovable (IRENA), 2019



Fuente: IRENA 2019

Se estima que la capacidad casi testimonial que tienen hoy las baterías de gran escala alcance 100 GWh en cuatro años. Las agencias internacionales de energía prevén que puede crecer a 400 GWh en 2040 y hasta 1.300 GWh a mediados de siglo¹⁰. En apenas cuatro años, el mercado de baterías de ión-litio tendrá un valor global de 106.493 millones de dólares¹¹.

El reto es mejorar sus parámetros actuales, situados entre 265-400 Wh/kg de densidad energética¹² y coste de 200-700 \$/Kwh, así como aumentar su vida útil, que oscila entre 500 y 20.000 ciclos de carga¹³ en función de la composición. El desarrollo de nuevas combinaciones químicas, especialmente la progresiva sustitución de cátodos de cobalto por elementos basados en el más barato y accesible níquel, junto con la entrada en economías de escala y una mayor experiencia de la industria pueden contribuir a me-

jorar ambos límites en un 50%¹⁴ hacia 2030. (Fig. 4)

De nuevo, Europa ha entrado tarde en este mercado. China y los países de la Asociación de Naciones del Sudeste Asiático controlan más del 80% de la capacidad de producción global de baterías de iones de litio, establecida en 150 GWh. Mientras que Norteamérica se queda con la mayor parte de la cuota occidental¹⁵, Europa fabrica alrededor del 3%. No obstante y según los planes empresariales analizados por el Centro Común de Investigación de la CE, las baterías europeas cubrirán entre el 7 y el 25% de la demanda global durante la presente década. Suecia, Polonia y Alemania son los principales países fabricantes.

Parte de este impulso procede de la movilización de 3.200 millones de euros en ayudas dentro de la European Battery Alliance, iniciativa con que la CE quiere desbloquear 5.000 millones de inversión privada a través de 17 compañías líderes en el sector de Bélgica, Finlandia, Francia, Alemania, Italia, Polonia y Sue-

10 *Li-ion batteries for mobility and stationary storage applications*. Centro Común de Investigación, CE, 2018

11 *Lithium-Ion Battery Market Research Report*. Prescient & Strategic Intelligence, 2019

12 *Fact Sheet: Energy Storage 2019*. Environmental and Energy Study Institute, 2019

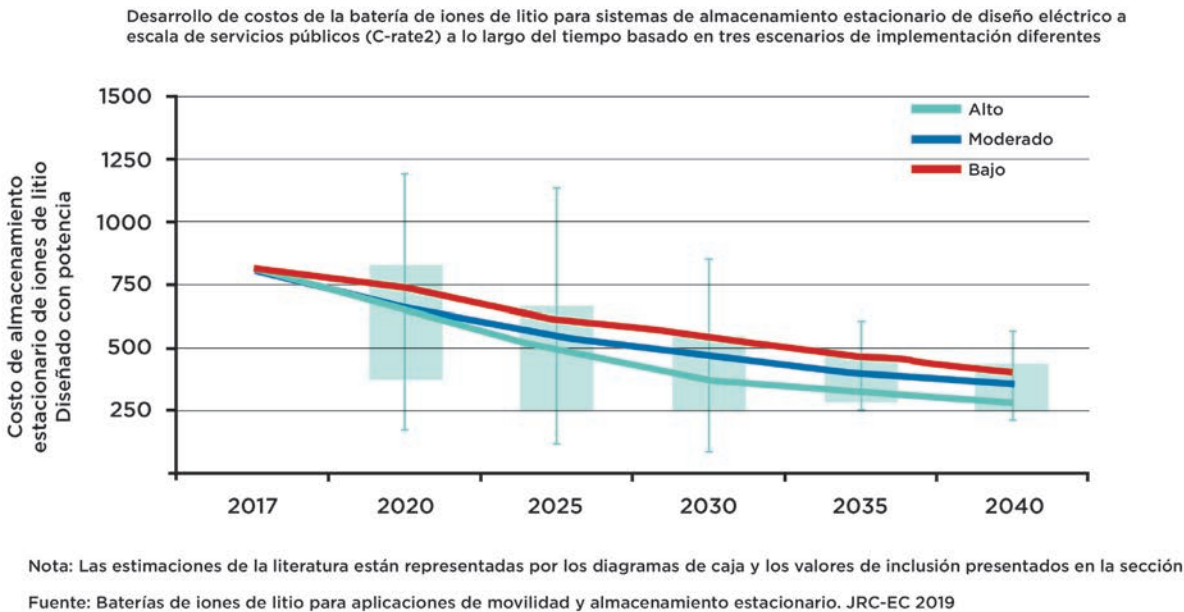
13 *Electricity Storage and Renewables: Costs and Markets To 2030*. Agencia Internacional de la Energía Renovable (IRENA), 2017

14 *Electric Vehicle Outlook 2019*. BloombergNEF, 2019 / *Reinventing the wheel*. IHS Markit, 2017 / Cepsa Energy Outlook 2030

15 *Li-ion batteries for mobility and stationary storage applications*. Centro Común de Investigación, CE, 2018

Fig. 4 **ESCENARIOS DE REDUCCIÓN DE COSTE DE BATERÍAS DE LITIO**

Estimación del coste del kW/h de baterías de litio para almacenamiento a gran escala según grado de desarrollo del mercado.



Fuente: CENTRO COMÚN DE INVESTIGACIÓN, CE, 2019

cia¹⁶. España no participa en este proyecto.

Sin embargo, la explotación de la segunda mayor mina de carbonato de litio de Europa, ubicada en Cáceres, aporta una notable ventaja competitiva a España en el sector de los materiales para baterías. El yacimiento tiene 1,6 millones de toneladas, cantidad que permitirá proveer materias primas para alrededor de 10 millones de vehículos eléctricos¹⁷. (Fig. 5)

Entre las subtecnologías del litio más prometedoras se encuentran el litio-azufre y el litio-aire. Mejoras recientes en la arquitectura de la batería han logrado aumentar la hasta ahora reducida vida útil de la combinación litio-azufre y ya se ensayan aplicaciones para aprovechar su densidad energética hasta cinco veces superior a las de ión-litio¹⁸. Los sistemas de metal-aire ofrecen rendimientos similares a los de la gasolina, como la pila de litio-aire que alcanza alrededor de 10.000 Wh/kg¹⁹. Sin embargo, todavía admiten pocos ciclos de carga y su química es compleja e inestable.

Empresas españolas han apostado por investigar y desarrollar aplicaciones de ambas técnicas.

Más allá del litio, existen opciones interesantes para el almacenamiento a gran escala dentro de las baterías electroquímicas. El coste de las soluciones basadas en litio, los problemas de seguridad y la distribución geográfica desigual de este metal limitan su desarrollo²⁰. Como alternativas, se barajan diferentes elementos. Las baterías de iones de sodio y potasio, ambos iones alcalinos, tienen propiedades análogas al litio y un elevado potencial reductor, aunque todavía presentan limitaciones durante la carga y una vida útil corta. La abundancia de magnesio permite construir baterías seguras y duraderas a bajo coste, pero los electrolitos compatibles con el ánodo de la baterías basadas en este ión alcalinotérreo son, por el contrario, escasos²¹. Otras opciones prometedoras pero todavía con importantes limitaciones son las pilas de calcio, las baterías acuosas de cinc y las de iones de aluminio²².

Las baterías de flujo, compuestas por elementos abundantes y baratos como grafito, bromuro de zinc, cobre o hierro, y especialmente las baterías redox de vanadio

16 España se queda fuera del 'milmillonario' plan de la UE para investigar y desarrollar baterías de ion-litio. El Periódico de la Energía, 2019

17 España tiene la segunda mina de litio más grande de Europa. Movilidad Eléctrica, 2020

18 Supercharging tomorrow: Australia first to test new lithium batteries. Monash University, 2020

19 Electric Vehicle Outlook 2019. BloombergNEF, 2019 / Reinventing the wheel. IHS Markit, 2017 / Cepsa Energy Outlook 2030

20 Magnesio, calcio, sodio... ¿Qué elemento sustituirá al litio en las baterías?. The Conversation, 2020

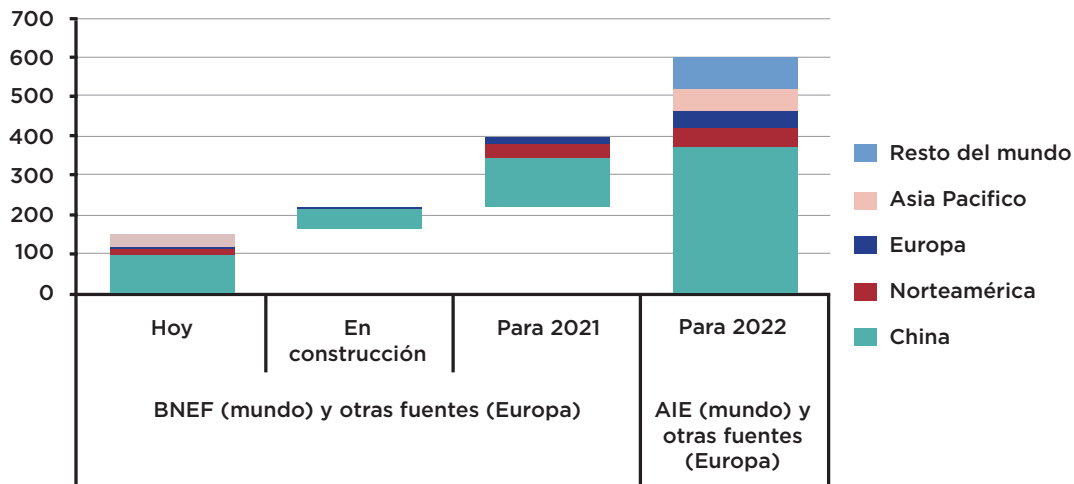
21 idem

22 idem

Fig. 5 CRECIMIENTO DE FABRICACIÓN DE BATERÍAS DE LITIO

Capacidad de productos para almacenamiento a gran escala y vehículos eléctricos, por regiones.

Se espera un crecimiento a corto plazo en la capacidad de fabricación global de células de iones de litio para aplicaciones tales como vehículos eléctricos y almacenamiento estacionario.



Fuente: CCI basado en BNEF (94) (Mundo) y otras fuentes para Europa (36, 95-97).
Datos de la AIE utilizados para 2022 (59)

Fuente: CENTRO COMÚN DE INVESTIGACIÓN, CE, 2019

lograron mucha atención hace unos años al presentar una vida útil prolongada y estable pese a necesitar mayor mantenimiento. Precisamente por ser idóneas para almacenamiento a gran escala su mercado es estrecho, lo que les resta competitividad frente al ión-litio.

No obstante, países como China han apostado por el potencial de esta tecnología y confían el almacenamiento de algunas de sus estaciones renovables a sistemas de redox de vanadio²³. En 2025, sólo el mercado de esta tecnología tendrá un valor de 307 millones de dólares²⁴.

Pese a que el dominio del litio parece claro en el futuro próximo, preocupan los problemas de suministro que ocasiona tanto su distribución geográfica como la del cobalto, uno de sus componentes fundamentales. En España, empresas²⁵ y laboratorios²⁶ también apuestan firmemente por las baterías de flujo como alternativa, con el objetivo de ampliar su rango de

aplicación al mercado de la movilidad y al almacenamiento de escala media y doméstica.

Las tecnologías de almacenamiento tienen aún muchos desafíos por delante. Además de las costosas extracciones en países que no siempre garantizan el cumplimiento de estándares legales y laborales, es necesario abordar el desgaste de los equipos, especialmente a partir de la retirada de la primera generación de vehículos eléctricos y baterías de red. Que el almacenamiento de renovables no constituya un nuevo problema medioambiental exige la normalización de una industria especializada de reciclaje²⁷.

El litio es una excelente tecnología pero no es una opción para la enorme cantidad que se necesitaría para almacenar toda la corriente. Otras alternativas son opciones muy interesantes, cada una con su nicho en función de sus características. •

²³ China apuesta por las baterías de flujo redox de vanadio para almacenar grandes cantidades de energía renovable. Smartgridsinfo, 2019

²⁴ Flow Batteries Struggle in 2019 as Lithium-Ion Marches On. Greentech Media, 2019

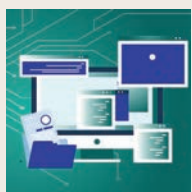
²⁵ Una nueva batería española podría conseguir el despliegue masivo de las energías renovables. MIT Technology Review, 2017

²⁶ Las amenazas para el litio. El mercurio

²⁷ Cepsa Energy Outlook 2030

Capítulo **10** BLOCKCHAIN





10 BLOCKCHAIN

Nuevo paradigma en seguridad de datos

JULIO MIRAVALLS

En 2008, Satoshi Nakamoto anunciaba la creación de una moneda digital, el Bitcoin. Esta nueva moneda no precisaba de las instituciones bancarias ni de los bancos centrales de ningún país, y permitía que las personas pudieran transferirse dinero unos a otros basándose únicamente en las claves criptográficas. La supuesta honestidad del mundo bancario se sustituía por la de toda una red verificadora, que seguiría unas reglas muy concretas.

Las implicaciones políticas, económicas y sociales del nuevo concepto, seguidas del carrusel de subidas, bajadas y especulaciones sobre el valor de una moneda global, no controlada por autoridad alguna y, por tanto, prácticamente anarquista, desviaron la atención del valor real de la tecnología subyacente, sobre la que se sustenta. La cadena de bloques. Un registro que contiene todas las transacciones efectuadas y que cualquier usuario de la red puede verificar, lo que se llamó una blockchain.

La tecnología que está detrás del Bitcoin, y varios centenares de criptomonedas diferentes, al ser aplicada al dinero, trata de resolver el problema de la confianza. Las divisas tradicionales se basan en la posesión de oro de los gobiernos, mientras que el bitcoin descansa su confianza en la resolución de problemas computacionales complejos. Además, tal y como ocurre con el dinero metálico, un Bitcoin no se puede usar simultáneamente en dos transacciones diferentes.

Cuando un *minero* observa una transacción, la incorpora a un bloque de datos, y si resuelve el desafío correspondiente (esencialmente, un *elliptic curve digital signature algorithm*, ECDSA), lo enlaza con bloques previos.

Eso es blockchain, archivos que tienen alguna información de otros archivos a los que van enlazados. Una tecnología con dos ingredientes esenciales: los bloques de información y la red de ordenadores, en cada uno de los cuales está toda la información. Esta no está repartida.

La tecnología blockchain se está extendiendo a otros campos en los que los conceptos de seguridad e identidad verificada tienen amplia trascendencia: certificación de documentos, acreditación de origen y trayectoria de productos (incluidos alimentos), compartición de recursos, o derechos de propiedad... Las posibles aplicaciones abren un inmenso abanico.

Tal como fue concebido, el bitcoin sólo puede alcanzar la cifra finita de 21 millones, lo que lo convierte en algo dudosamente útil si no está apreciado en relación con otros valores o divisas, ya sea el dólar, el patrón oro o el barril de petróleo. De hecho, aunque en determinados casos se pueda operar con criptomonedas, para comprar y vender bienes, o para turbias operaciones delictivas, el valor siempre se establece con referencia al cambio con una moneda *real*. Y lo mismo ocurre con las otras criptomonedas, aunque puedan estar mejor diseñadas, sin límites o con márgenes muchísimo más amplios.

Dejando a un lado esas veleidades monetaristas, la tecnología blockchain es un nuevo paradigma de acreditación de identidad de objetos, que no puede ser alterada de manera unilateral por un solo agente. Cualquier operación necesita la convalidación de la cadena. En un mundo orientado hacia lo digital, con la entrada en servicio de millones de objetos inteligentes que generan datos (IoT), control de productos que se mueven por todo el planeta y nuevos sistemas de gestión de actos financieros (productos fintech), digitalización de la sanidad e incluso difusión de información, la tecnología de cadena de bloques puede aportar la capacidad de identificación única e inalterable de un elemento de valor.

EL PAPEL DE ESPAÑA

La tecnología blockchain está siendo mejorada a velocidad acelerada, tratando de acomodarla a las necesidades del negocio. Supondrá seguramente una revolución en la economía mundial, provocando cambios en muchos casos imprevisibles.

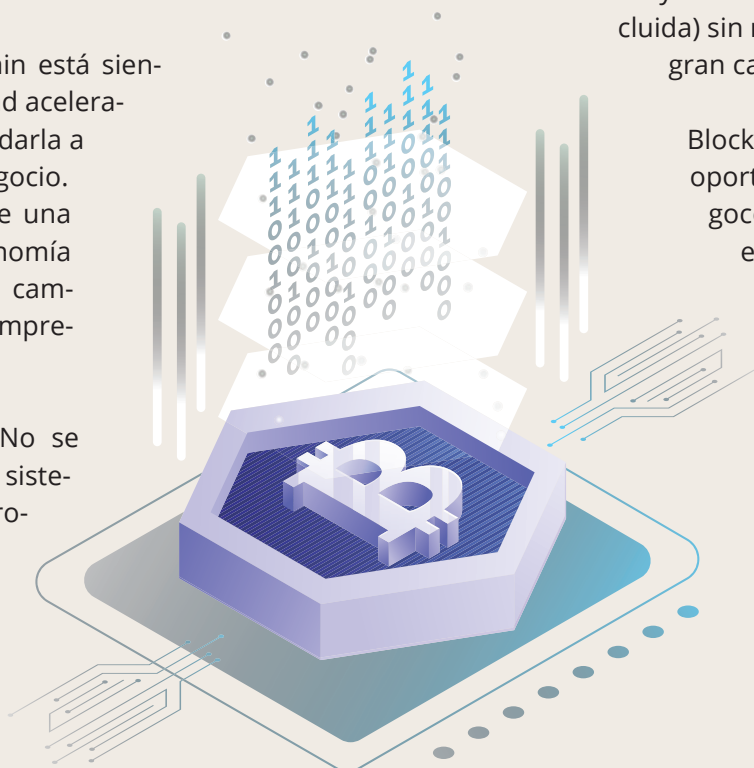
Es tecnología digital. No se basa en disponer de sistemas sofisticados de producción de bienes físicos, materias primas o una

cadena de suministros, ni en poseer equipos informáticos extraordinariamente potentes, sino, fundamentalmente, en las matemáticas que se usan (*backed by math*). En la capacidad de imaginar posibles aplicaciones y un conocimiento sólido para desarrollar la programación adecuada a tales fines. Es un entorno en el que el punto de partida no concede ventajas particulares a ningún país, ni a ningún grupo de trabajo, más allá de la capacidad para contratar talento y gente ya experimentada en este terreno.

Cualquier persona o grupo de trabajo puede identificar un objetivo de posible aplicación, lanzar su proyecto y desarrollarlo, aprovechando las ventajas de un ecosistema global de computación, almacenamiento y herramientas en la nube (IA incluida) sin necesidad de un invertir un gran capital.

Blockchain es, por tanto, una oportunidad para países que gocen de un buen sistema educativo e investigador.

Una inversión en talento que desarrolle las técnicas criptográficas, basadas en la teoría de números, la geometría algebraica (curvas elípticas) y los procesos aleatorios llevaría a España a las fronteras de esta tecnología. •





CON DATOS EN LA MANO

#10 Blockchain

ANDRÉS VALDÉS

Nuestro mundo se basa en el intercambio seguro de bienes, servicios e información que atraviesa complejas estructuras con multitud de nodos en su viaje hasta llegar al destinatario. Las transferencias se producen en las condiciones acordadas, en un entorno donde los actores no tienen *a priori* motivos para confiar en los demás. Todo esto hace que el intermediario sea el actor más relevante y mejor informado en cada sector. En finanzas, logística, administración pública y otras actividades de intercambio; los peajes, tiempos de espera e incluso la posición dominante del supervisor han sido interpretados por los participantes como condiciones obligatorias para trabajar con garantías. Aceptar el papel y el precio del operador central es clave para mantener el sistema activo y confiable.

La irrupción de las tecnologías de registro distribuido (DLT en sus siglas en inglés), también denominadas blockchain por la popularidad de la cadena de bloques que hace funcionar la criptomoneda Bitcoin, desafía, virtualmente, el papel de los intermediarios. En esencia, una blockchain garantiza el intercambio de códigos únicos de criptografía –una criptomoneda, en este caso- mediante un sistema de contabilidad que recompensa a los propios usuarios por registrar los movimientos y verificar que la base de datos no es manipulada. Pocos años después de nacer en un foro de criptografía como una alternativa experimental al dinero¹, Bitcoin era una divisa cuya unidad ya se cambiaba a unos 10.000 dólares² y con la que se podían comprar todo tipo de bienes físicos. Sin embargo, las criptomonedas se revelan como los árboles que ocultan el bosque: la verdadera disrupción no es el dinero virtual sino el sistema de registro que la hace posible.

La propia OCDE considera que intermediarios como entidades financieras, industrias de transformación e incluso administraciones pueden gobernar los mercados, aplicar tarifas excesivas y ralentizar la actividad económica y todo ello sin ser necesariamente confiables³. Desde la aparición de los registros distribuidos, muchos agentes económicos se preguntan para qué necesitan un fedatario si la propia transacción es un protocolo que ofrece suficientes garantías de cumplimiento para todas las partes.

Según el Banco Mundial, una tecnología de registro distribuido tiene dos componentes imprescindibles: la capacidad de almacenar, registrar e intercambiar información digital entre varios usuarios sin intermediación central y un sistema para garantizar que no se produce ningún doble gasto, de forma que los recursos (criptomonedas u otros archivos encriptados) no se envíen a varios participantes a la vez⁴. A partir de esta definición, y dadas las dificultades para consolidarse como alternativa financiera que han mostrado las criptomonedas, las blockchain han ingresado en los departamentos de I+D como una tecnología versátil que ofrece seguridad, velocidad y ahorro de costes. Las aplicaciones más directas de esta tecnología están en finanzas, logística, identidad digital y gobernanza. (Fig. 1)

Las entidades financieras, en especial los bancos, son los negocios más afectados por el desarrollo de las tecnologías de registro distribuido. Si bien su papel puede perder relevancia si se produce un cambio de paradigma financiero, hoy por hoy las alternativas carecen de recursos y alcance necesario para amenazar a las entidades tradicionales. En cambio, esta tecnología ofrece oportunidades que el sector ha abrazado de forma temprana. Se estima que la introducción de blockchains sólo en la gestión de activo y pasivo y

¹ Bitcoin. Wikipedia, 2020

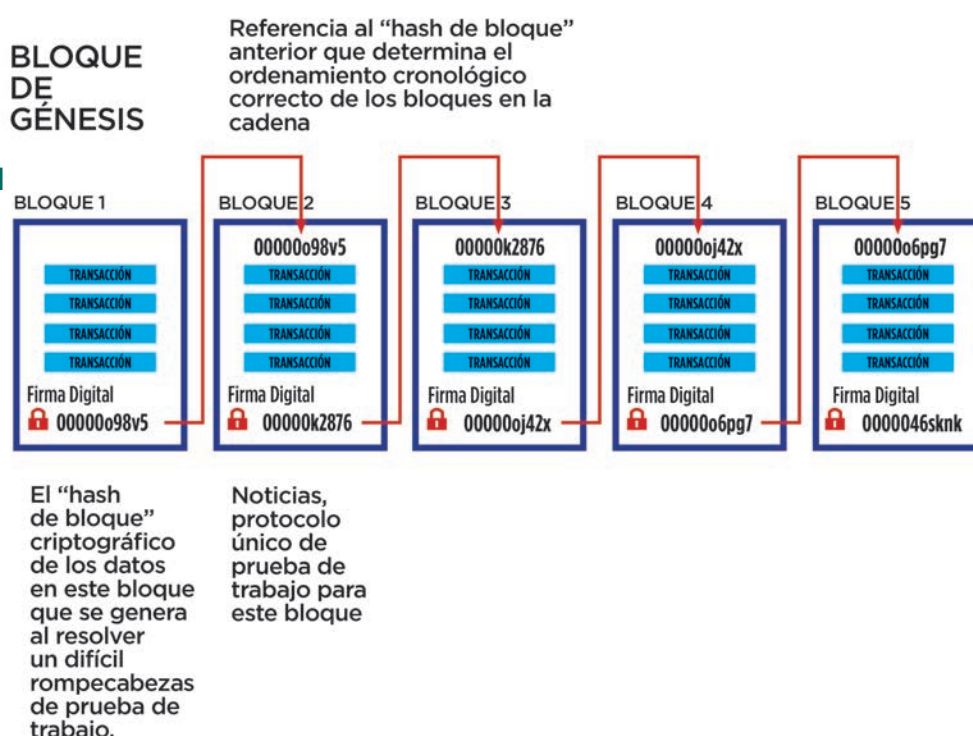
² Bitcoin's Price History. Investopedia, 2019

³ Blockchain Primer. OCDE, 2018

⁴ Distributed Ledger Technology (DLT) and Blockchain. Banco Mundial, 2017

Fig. 1 REGISTRO DE DATOS CON CRIPTOGRAFÍA EN UNA BLOCKCHAIN

La escritura de transacciones requiere resolver una clave. El agente que la desbloquea añade los nuevos datos al bloque, que incluye una referencia al anterior para mantener el orden cronológico de la cadena.



Fuente: Banco Mundial, 2017

compliance podría reducir los costes de sus departamentos en más de un 70%⁵.

En Europa, algunos gobiernos ya han comenzado a usar blockchain para ofrecer un mejor servicio a los ciudadanos. Algunos ejemplos de estas iniciativas incluyen un sistema de votación local en Suiza, un registro de propiedad inmobiliaria en Suecia, el ensayo de una base de datos de historiales médicos distribuida en Estonia o un archivo de expedientes académicos vía blockchain en Chipre⁶.

El sector logístico es uno de los que más pueden be-

neficiarse de la prometedora subtecnología blockchain de contratos inteligentes o *smart contracts*. Los procesos de transmisión de fondos o información sujetos a condiciones que contienen los contratos pueden, al ser concebidos como unidades criptográficas inalterables naturales del registro, automatizarse para imprimir un ritmo algorítmico en la cadena de distribución y simplificar tareas complejas como supervisión de entregas, paso de aduanas o trazabilidad de productos⁷.

Además, la existencia de tantos usuarios como copias de los bloques de transacciones que forman el registro y su actualización simultánea confieren a las

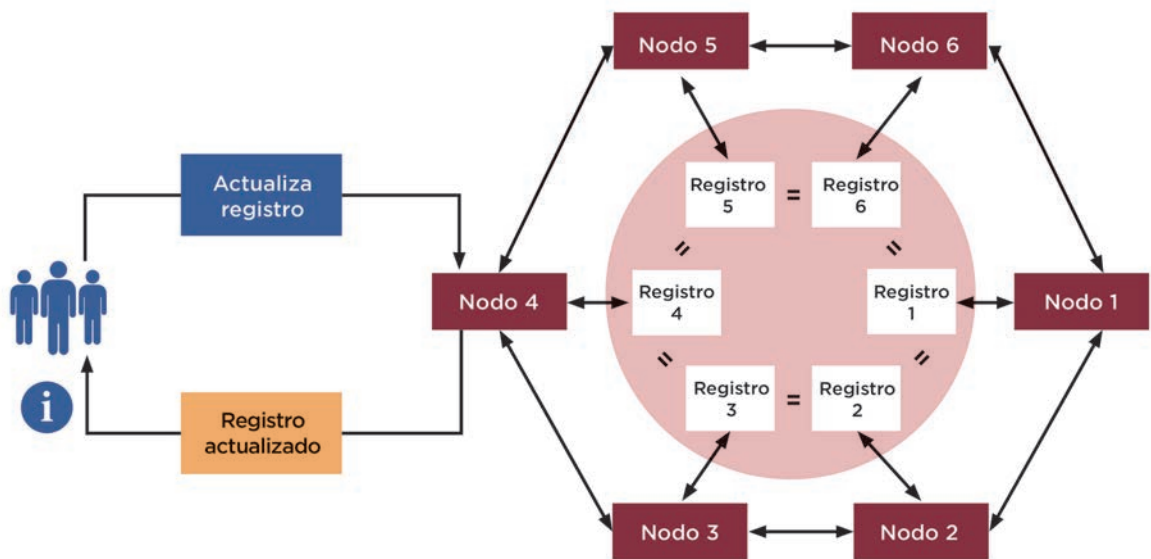
⁵ *Banking on Blockchain. A Value Analysis for Investment Banks*. Accenture, 2017

⁶ *Blockchain in Trade Finance and Supply Chain*. European Union Blockchain Observatory and Forum, 2019

⁷ *Blockchain for Government and Public Services*. European Union Blockchain Observatory and Forum, 2018

Fig. 2 **PROCESO DE ACTUALIZACIÓN DE UN REGISTRO DISTRIBUIDO**

El agente firma la transacción, la envía a la red a través de uno de los nodos y pide su procesamiento. Otros nodos verifican la identidad del solicitante y validan la transacción, confirmando que el peticionario tiene las credenciales necesarias para actualizar el registro. Una vez validada la operación por los nodos, se actualizan los registros de cada uno de ellos.



Fuente: Banco de España, 2018

blockchain mayores garantías de transparencia y seguridad que las bases de datos que tienen un único administrador. Cualquier intento de manipulación necesita alterar toda la red, lo que resulta inabarcable porque sería necesario invertir más recursos que los que se pretende conseguir. Especialmente si el atacante pretende vulnerar registros distribuidos de gran tamaño⁸. (Fig. 2)

Las tecnologías blockchain se desarrollan con cadencias irregulares, por lo que su penetración empresarial es todavía escasa a pesar de que los años de mayor interés se concentraron a finales de la pasada década debido a la atención generada por las criptomonedas. Con los registros distribuidos desvinculados de las divisas, los analistas estiman que las inversiones ganen concreción e intensidad progresivamente. La capitalización global de la investigación en blockchain durante 2019 fue de 3.000 millones de dólares, pero su valor añadido podría ser de 360.000 millones en 2026⁹.

Por regiones y considerando el número de *start-ups*

dedicadas a tecnologías blockchain, EE UU y China se reparten a partes iguales el 60% del ecosistema. La salida de Reino Unido de la Unión Europea supone la pérdida de casi la mitad de la contribución del continente, donde Alemania, Francia, Estonia y Suecia agrupan las mayores concentraciones de empresas especializadas. Otros actores globales de relevancia son Singapur, Japón y Corea del Sur. (Fig. 3)

España queda fuera de esta fotografía realizada por el Centro Común de Investigación de la UE. La adopción de esta tecnología es embrionaria y las iniciativas más visibles relacionadas con estas tecnologías quedan restringidas a la banca, a algunas comunidades autónomas y a agrupaciones empresariales. De esta forma, BBVA fue una de las primeras entidades en explorar el potencial de los registros distribuidos al sumarse al consorcio internacional R3 para desarrollo de una blockchain privada¹⁰. Santander, Caixabank y Bankia también han invertido en *start-ups* o investigado aplicaciones en sus departamentos de transformación digital¹¹.

8 Blockchain Primer. OCDE, 2018

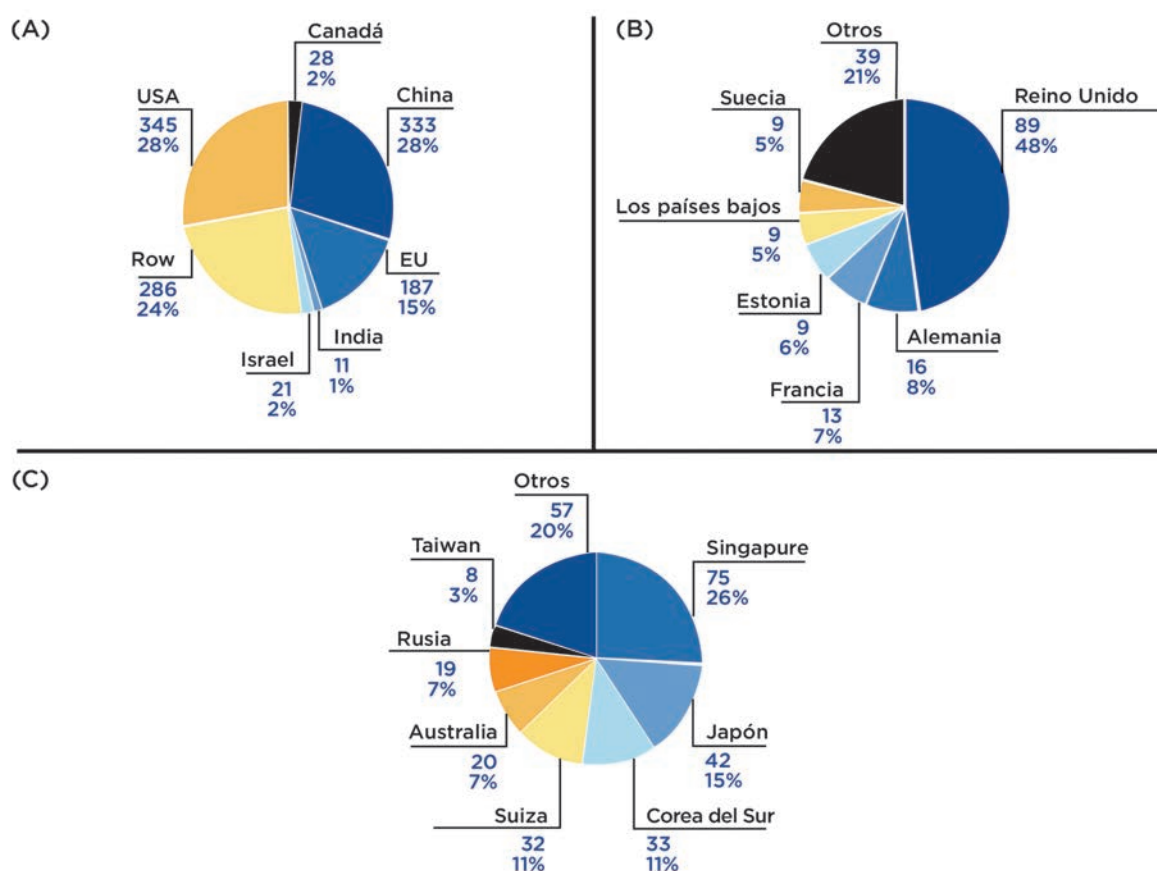
9 Blockchain Now And Tomorrow. Centro Común de Investigación, CE, 2019

10 R3: La apuesta de los bancos por la tecnología Blockchain. BBVA, 2016

11 La banca española explora el potencial del 'blockchain'. Expansión, 2018

Fig. 3 START-UPS DE BLOCKCHAIN

Distribución por empresas creadas entre 2009 y 2018 en A) actores internacionales más relevantes B) UE C) resto del mundo.



Fuente: VentureSource - Dow Jones, 2018

En los últimos años, han surgido también iniciativas privadas para impulsar el conocimiento y la adopción de estas tecnologías. Una de las de mayor crecimiento y alcance es Alastria, que suma 471 socios con mayoría de pymes y administraciones¹². A escala territorial, Aragón y Cataluña son las comunidades con más iniciativa. El Gobierno de Aragón ha implementado registros distribuidos para tramitar licitaciones públicas mientras que la Generalitat catalana ha presentado recientemente su Estrategia Blockchain a fin de facilitar el desarrollo público y privado de estas soluciones¹³.

Como se observa en el gráfico, los registros distribuidos sólo presentan un desarrollo maduro en el sector de la minería e intercambio de criptodivisas, pero su aplicación a cadenas de distribución y ope-

raciones financieras está cerca de ser necesaria para el mercado. (Fig. 4)

Según CB Insights, los proyectos de blockchain públicas relacionados con identidad digital, organizaciones descentralizadas o mercado de datos se encuentran en una fase muy experimental. Cabe esperar por tanto que durante los próximos años el sector continúe copado por las criptomonedas y el sector privado.

Los registros distribuidos plantean desafíos más allá de la competencia e incluso la relevancia empresarial. Son sistemas robustos pero no infalibles y han revelado brechas de seguridad, especialmente en la operación mediante firma y sello personal de los usuarios. Además, la dificultad de ganar la masa crítica necesaria para ser viables compromete su desarrollo más allá del ámbito privado. Por otra parte, la percepción de esta tecnología como una amenaza al orden económico-financiero tradicional puede generar legisla-

¹² Memoria de actividades. Junio 2018 - Junio 2019. Alastria, 2019

¹³ Tecnología 'blockchain': un nuevo concepto a dominar. Harvard Deusto, 2019

ciones restrictivas que desincentiven la participación, como ya ha ocurrido en algunos países asiáticos¹⁴.

Un problema adicional, y que suele pasar desapercibido, es el impacto medioambiental que generan las blockchain. La energía necesaria para almacenar y añadir nuevos bloques a los registros demandan cantidades ingentes de electricidad. Sólo la minería que descripta cada nuevo bloque en Blockchain, el registro distribuido de Bitcoin, consume una proporción de energía similar a la de Dinamarca¹⁵. Tampoco se han resuelto aspectos técnicos como la sobrecarga de los sistemas más grandes en número de partici-

pantes, por lo que su estabilidad no está del todo garantizada¹⁶.

Los registros distribuidos tienen muchas etapas que consolidar antes de convertirse en un elemento fundamental de la nueva revolución industrial en ciernes. No obstante, el interés que generan en el sector público y privado y la complementariedad que presentan con otras tecnologías primordiales de esta transformación como la Inteligencia Artificial o el Internet de las Cosas prometen compensar las dificultades y hacerla imprescindible en los años venideros. •

14 Blockchain. Investment Insight. Morgan Stanley, 2018
15 idem

16 Blockchain Now And Tomorrow. Centro Común de Investigación, CE, 2019

Fig. 4 **TENDENCIAS EMERGENTES EN TECNOLOGÍAS BLOCKCHAIN.**
GRADO DE MADUREZ DE APLICACIONES DE REGISTRO DISTRIBUIDO



Fuente: CB Insights, 2019

Capítulo **10+1** LUCHA CONTRA LAS EPIDEMIAS RECURRENTES





CON DATOS EN LA MANO

Preparándose para lo inesperado

ANDRÉS VALDÉS / CRISTINA MARTÍNEZ

Nadie podría imaginar a principio de año, cuando estábamos elaborando este informe que un virus fuera a cambiar de forma tan significativa nuestras vidas, a acelerar procesos de digitalización y trabajo en remoto y demostrarnos con tanta crudeza la importancia de la investigación y la sanidad para enfrentar los grandes problemas de nuestro tiempo. Cada semana se están conociendo nuevos detalles sobre el SARS-CoV-2, el nuevo miembro de la familia de los coronavirus, lo que nos acerca hacia nuevos tratamientos para combatir la enfermedad y una vacuna eficaz que nos permite protegernos de la infección.

En tiempos de pandemia, confinamiento, desesperanza y recesión, la investigación científica y la tecnología ofrecen un valor perentorio, que se añade al que ya otorgaban los Objetivos de Desarrollo Sostenible y los responsables de las economías más avanzadas. Por primera vez, la ciencia y la tecnología, se iluminan bajo una nueva luz. Representan la barrera más fiable frente los riesgos derivados de situaciones imprevistas, con implicaciones en aspectos hasta ahora inéditos, como la seguridad nacional.

LAS EPIDEMIAS, UNA CONSTANTE EN LAS ÚLTIMAS DÉCADAS

Durante los últimos 40 años se han registrado brotes y rebotes de enfermedades infecciosas que tienen su origen en el mundo animal. Estas enfermedades son causadas por agentes patógenos como los virus, bacterias, parásitos y priones que tienen su reservorio en otras especies¹ o bien se transmiten mediante vectores invertebrados. Gran parte de los contagios

se localizan en ecosistemas simplificados, como fincas agropecuarias², pero una proporción importante de ellos son consecuencia de la intrusión humana en entornos prístinos y complejos³. En el siglo pasado, al menos diez brotes han saltado a nuestra especie procedentes de murciélagos, cerdos o aves. En lo que va de centuria se han registrado cinco nuevas enfermedades víricas⁴ que han tenido un alto coste en vidas humanas y en pérdidas económicas. Los expertos ya nos habían advertido de los riesgos asociados a la transmisión de virus de animales a personas, un proceso que se conoce como zoonosis y que se ha repetido con excesiva frecuencia en las últimas décadas. El informe de Riesgos Globales del Foro Económico Mundial nos alertaba a principios de 2020 de que algo así podría ocurrir⁵. Ha sido nuestra indiferencia hacia las repetidas advertencias de los expertos la causante de que esta pandemia se haya extendido de tan rápidamente por todo el mundo. Y no será la última.

El SARS (Síndrome Respiratorio Agudo Severo), el MERS (Síndrome Respiratorio de Oriente Medio), la gripe porcina o gripe A (H1N1) y la gripe aviar (H7N9), todas enfermedades causadas por virus de animales domésticos y silvestres, fueron emergentes alrededor de la primera década de este siglo. También el rebrote de la enfermedad del Ébola en Guinea de 2013 es un ejemplo de cómo la destrucción de masa forestal y el movimiento de población hacia zonas silvestres facilita el contacto entre humanos y reservorios animales de virus. Como han advertido los expertos en múltiples ocasiones, las zoonosis brotarán en propor-

¹ Some experts believe climate change may increase the emergence of new animal-to-human transmitted diseases like COVID-19. Business Insider, 2020

² Al menos 142 virus han saltado de animales a humanos. El País, 2020

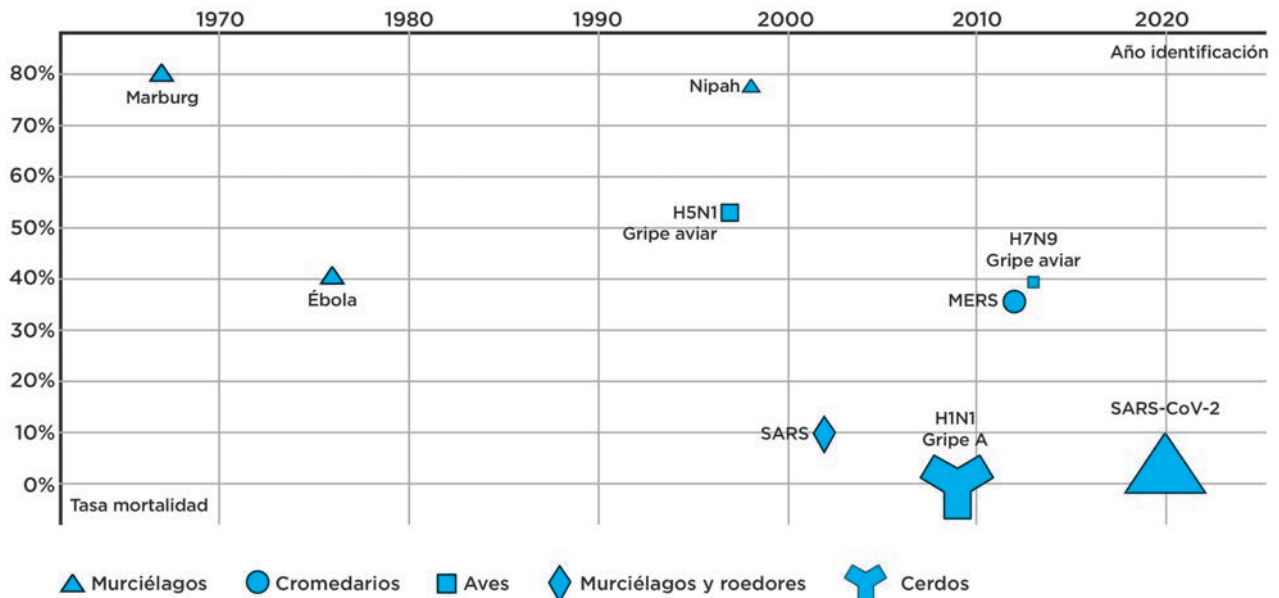
³ La degradación de ecosistemas, gasolina para las epidemias. Información, 2020

⁴ How The New Coronavirus Compares to Past Zoonotic Outbreaks, in One Simple Chart. ScienceAlert, 2020

⁵ Salud planetaria y COVID-19: la degradación ambiental como el origen de la pandemia actual. Salud Global, 2020

Fig. 1 COMPARACIÓN ENTRE GRANDES VIRUS ZONÓTICOS

Contagios en humanos de virus procedentes de animales, por año de identificación del brote y tasa de mortalidad. El tamaño del icono representa el número de países afectados.



Fuente: ScienceAlert/WWF, 2020

ción al crecimiento demográfico y de nuestra presión sobre el medioambiente⁶. (Fig. 1)

La actividad humana produce otros efectos, como el calentamiento global, que extiende en latitud y altitud las áreas de reproducción tanto de bacterias y protozoos como de vectores⁷. De esta forma, el calor facilita que países septentrionales y zonas de montaña dejen de constituir una muralla natural para enfermedades tropicales. La malaria, el dengue, la chikunguña, el zika, la fiebre del valle del Rift y la fiebre del Nilo Occidental son enfermedades transmitidas por insectos que se expanden desde hace dos décadas por áreas menos cálidas por efecto del cambio climático⁸. La región mediterránea es una de las más directamente amenazadas por los patógenos de vector.

Además, la desaparición del hielo en glaciares y de la capa de permafrost en regiones boreales ha causado la aparición reciente de cepas de virus y microorganismos que permanecían congelados en China y en

Rusia⁹. Está por determinar si se trata de casos aislados o de un adelanto de lo que traerá el aumento de la temperatura en el planeta.

COVID-19: EXPANSIÓN Y BÚSQUEDA DE VACUNAS

De la historia del SARS-CoV-2 solo se conoce, y tan solo de forma parcial, el nudo. El desenlace es inescrutable y la introducción está siendo escrita por la ciencia. Se sabe que es un virus que pudo haber dado el salto a humanos desde mamíferos como el murciélago o el pangolín¹⁰, dos especies silvestres con las que hemos tenido un contacto más cercano en los últimos años por la deforestación y el tráfico de animales. De ahí que los mercados húmedos asiáticos como el de Wuhan se consideren el epicentro del contagio. La Organización Mundial de la Salud ha solicitado a las autoridades chinas poder investigar la posible transmisión del virus desde estos animales a los seres humanos en los lugares donde surgió el brote¹¹.

Han pasado apenas cinco meses desde que escucha-

6 How The New Coronavirus Compares to Past Zoonotic Outbreaks, in One Simple Chart. ScienceAlert, 2020

7 Pérdida de Naturaleza y Pandemias. Un Planeta Sano por la Salud de la Humanidad. WWF, 2020

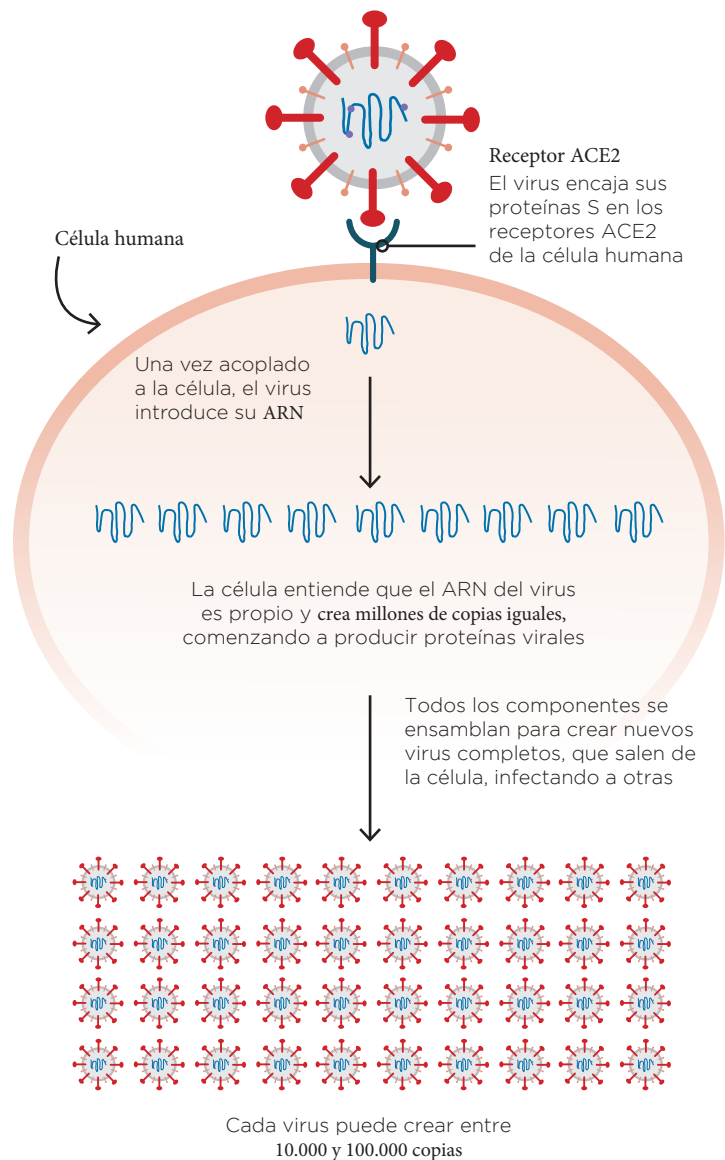
8 La degradación de ecosistemas, gasolina para las epidemias. Información, 2020

9 Pérdida de Naturaleza y Pandemias. Un Planeta Sano por la Salud de la Humanidad. WWF, 2020

10 El origen del coronavirus SARS-CoV-2, a la luz de la evolución. The Conversation, 2020

11 La OMS pide a China que "le invite" para investigar los orígenes del nuevo coronavirus. El Mundo, 2020

Fig. 2 **CÓMO SE REPRODUCE EL CORONAVIRUS**



Fuente: The Lancet-BBC

mos por primera vez el nombre de la enfermedad que causa el nuevo coronavirus (Fig. 2), COVID-19, y en ese tiempo nuestras vidas, empleos y la economía mundial se han visto fuertemente afectados por la pandemia. El 31 de diciembre de 2019, China notificaba el brote en la ciudad de Wuhan, un mes más tarde se documentaba el primer caso en Europa y el 11 de marzo, la OMS daba el salto de epidemia a pandemia. La entidad ha instado también a los países a investigar los primeros casos de la enfermedad cuyo virus, probablemente, circulara por Europa antes de enero.

El SARS-CoV-2 tardó 67 días en alcanzar los 100.000 casos en todo el mundo. Desde su llegada a Europa su escalada ha sido imparable. El 2 de abril se supera-

ba el millón de contagios confirmados, dos semanas después ya eran más de dos millones y el pasado 18 de mayo se alcanzaban los 4,7 millones de casos y los 315.000 fallecimientos.

España ha sido uno de los países con más contagios de todo el mundo con más de 230.000 casos y cerca de 28.000 muertos. Nuestras autoridades confirmaron el primer caso de contagio por coronavirus el 31 de enero de 2020 en la isla de La Gomera. Pero han sido las Comunidades Autónomas de Madrid y Cataluña las más afectadas de nuestro país.

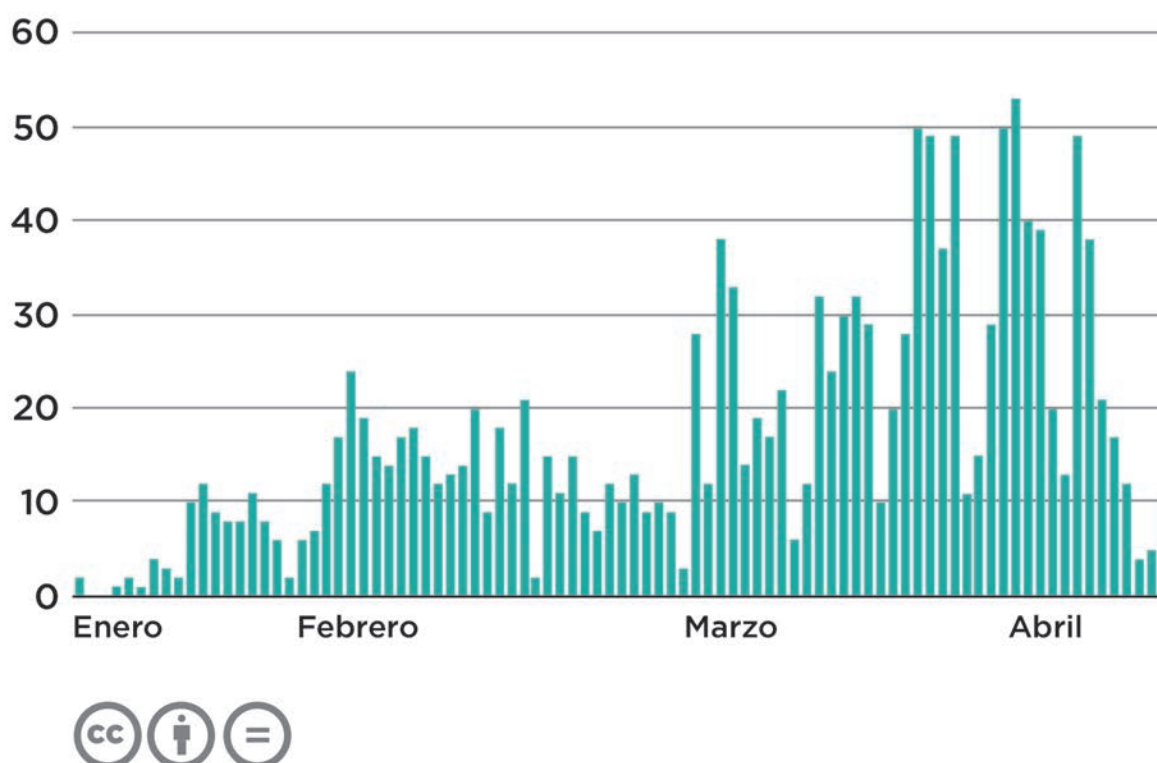
Estados Unidos lidera el número de casos confirmados con cerca de un millón y medio y más de 89.000

Fig. 3 INVESTIGACIONES Y BÚSQUEDA DE LA VACUNA

Investigaciones para vencer el coronavirus.

Más de 1.500 estudios clínicos para vencer al coronavirus

Número de ensayos clínicos registrados cada día sobre el coronavirus (hasta 20.04.2020)



Datos disponibles 05.04.2020

Fuente: HEIGIT

muerres, seguido de Brasil. Mientras, Italia conseguía frenar los contagios, tras haberse convertido en el primer país europeo en enfrentarse con este enemigo¹².

Gracias a numerables esfuerzos, Europa ha contenido, de momento, la extensión del virus. Desgraciadamente, en EE UU el número de nuevos contagios todavía es muy importante y América Latina se enfrenta a un rápido aumento de casos. Las buenas noticias es que Asia ya se encuentra en otra fase en la que el número de nuevos contagios es muy bajo y todos los esfuerzos se centran en vigilar nuevos rebrotes. Una fase en la que estamos a punto de entrar y que por lo

tanto tenemos que seguir con atención, prudencia y la disciplina. (Fig. 3)

Desde enero hasta mediados de mayo son ya alrededor de 1.700 investigaciones las que se están realizando en todo el mundo relacionadas con el SARS-CoV-2. La gran mayoría, destinadas a determinar la eficacia de algunos medicamentos (un 30%) y comprender mejor el virus (un 24%).

Entre los medicamentos con los que se está investigando por su posible efecto contra el coronavirus, los antipalúdicos centran el 20% de los estudios; los antivirales suponen el 13%; los antibióticos, representan el 7%; anticoagulantes y antiagregantes, el 4%, y el

12. La crisis del coronavirus. El País, 2020

Fig. 4 **EL PROTAGONISMO DE ESPAÑA EN LA INVESTIGACIÓN FRENTE A LA COVID-19***

4º país
del mundo con
más ensayos



**58 ensayos
clínicos**
con posibles
medicamentos



**28.000
pacientes**
se estima que
participarán en
estos ensayos



**332
hospitales**
españoles
participan en
estos ensayos

*Datos a 05.05.2020

Fuente: Farmaindustria

plasma de pacientes recuperados, el 3%¹³.

El papel que ha adquirido España en este esfuerzo global por encontrar un tratamiento eficaz contra la COVID-19 es alentador. Nuestro país se ha convertido en el cuarto del mundo y el primero de Europa en la realización de ensayos clínicos con medicamentos para combatir la COVID-19 (Fig. 4). Son ya alrededor de 60 ensayos los que se han aprobado o están ya en desarrollo en hospitales españoles, a los que se suman otros 67 estudios observacionales para evaluar la efectividad de los medicamentos en la práctica clínica real¹⁴.

Según estimaciones del Ministerio de Sanidad, alrededor de 28.000 pacientes participarán en estos estudios en 332 hospitales españoles.

Entre los países que más ensayos clínicos están realizando, según datos de la OMS hasta el 5 de mayo, destaca China con 154, seguido por EE UU con 109 e Irán con 63, y después España. En Europa, tras nuestro país, se sitúan Francia con 51, Reino Unido con 17, Alemania con 16, Dinamarca con 14 e Italia con 11. (Fig. 4)

Sin embargo, no es tanta la cantidad como la calidad de los ensayos. De hecho, se conseguiría mayor eficacia

si se trabajara de forma más coordinada. De ahí la importancia de algunos proyectos colaborativos, como el ensayo Solidaridad de la Organización Mundial de la Salud para cuatro posibles terapias, frente a otros más pequeños, dada la urgencia en encontrar tratamientos, que en ocasiones se generan sin grupo de control y no prueban la eficacia de los medicamentos en suficientes pacientes. Por estas razones, varios estudios han dado resultados contradictorios al realizarse en distintos países¹⁵.

Todos estos tratamientos tienen como objetivo atenuar los efectos de la enfermedad, pero no tendremos una verdadera cura contra la COVID-19 hasta que no dispongamos de una vacuna eficaz. Precisamente por ello, muchos laboratorios trabajan sin descanso para lograr este objetivo. Según los datos de la OMS, a 30 de abril existen más de un centenar de investigaciones en busca de la vacuna, de las cuales ocho se encuentran en fase clínica, es decir, con ensayos en pacientes. China asegura que tiene ya tres vacunas en fase 2 de ensayos clínicos, mientras España también avanza en este campo. A principios de mayo, la Universitat de València presentaba una solicitud de patente de una candidata a vacuna contra la COVID-19 que comenzará probarse en breve en animales. También un equipo de investigadores españoles y belgas, liderados por el Instituto de Investigaciones Biomédicas August Pi i Sunyer de Barcelona, trabaja de forma conjunta para conseguir la inmunidad¹⁶.

¹³ Expert System S p A : More than 1,700 COVID-19 Clinical Trials Registered Worldwide. MarketScreener, 2020

¹⁴ España, cuarto país del mundo y primero de Europa en ensayos clínicos de tratamientos contra el coronavirus. Farmaindustria, 2020

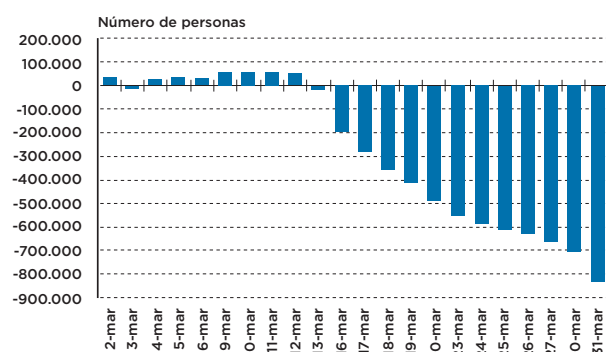
¹⁵ Coronavirus drugs trials must get bigger on more collaborative. Nature, 2020

¹⁶ La vacuna "made in Spain" que inoculará ARN mensajero. Redacción Médica, 2020

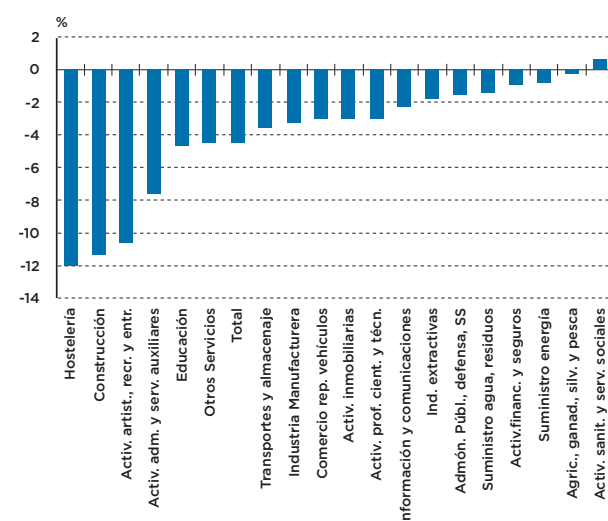
Fig. 5 IMPACTO EN LA AFILIACIÓN DEL NÚMERO DE TRABAJADORES Y POR SECTORES DE LA PRIMERA QUINCENA DEL ESTADO DE ALARMA

En las dos últimas semanas de marzo se registró la baja en el sistema de Seguridad Social de casi 900.000 personas. En ese periodo, los sectores productivos perdieron de media al 4% de su fuerza de trabajo.

1 Variación acumulada de la afiliación a la Seguridad Social respecto al 28 de febrero



2 Tasa de variación acumulada de la afiliación entre el 28 de febrero y el 31 de marzo, por sectores de actividad



Fuente: Banco de España, 2020

IMPACTO ECONÓMICO DE LA CRISIS DEL CORONAVIRUS

El escenario recesivo que ha provocado la pandemia, con su corolario de cierre de fronteras, estancamiento del consumo, cambio de hábitos, efecto parada-arranque y restricciones a la actividad económica derivadas de las medidas de salud pública, obliga a un impulso innovador y transformador sin precedentes. La inversión en I+D se revela crucial para realizar las necesarias adaptaciones al nuevo contexto. Un reto que viene de atrás, pero que se manifiesta ahora incontestable.

El Fondo Monetario Internacional prevé que el PIB mundial caiga alrededor de un 3% en 2020¹⁷. Europa, una de las zonas más afectadas por la propagación del virus, se prepara para la mayor recesión en un siglo. La previsión de la Comisión Europea es que la economía de los 19 países de la zona euro se contraiga un 7,7% y la de los 27 estados de la Unión lo haga en un 7,4%¹⁸.

En nuestro país, donde las consecuencias de la pandemia han sido especialmente devastadoras, el golpe recibido por la economía puede provocar que la producción de este año se desplome entre un 6,6% y un 13%, en función de la duración de la desescalada y el grado de recuperación de la normalidad, sobre todo en empresas y actividades ligadas a la hostelería¹⁹. Las necesidades de financiación del Estado para hacer frente a la emergencia sanitaria y económica disparará la deuda pública hasta una horquilla que oscila entre el 110% y el 120%²⁰ del PIB.

La traducción en empleos de esta contracción es dramática. Sólo durante el primer mes del estado de alarma, decretado para hacer frente a la creciente curva de contagios, la Seguridad Social registró bajas de afiliación diarias de decenas de miles de personas. Hostelería y construcción perdieron en esas cuatro semanas más del 10% de sus trabajadores. El resto de sectores, a excepción de la sanidad que sí generó nuevos contratos, perdieron de media al 4% de su fuerza de trabajo antes de que empezara abril. (Fig. 5)

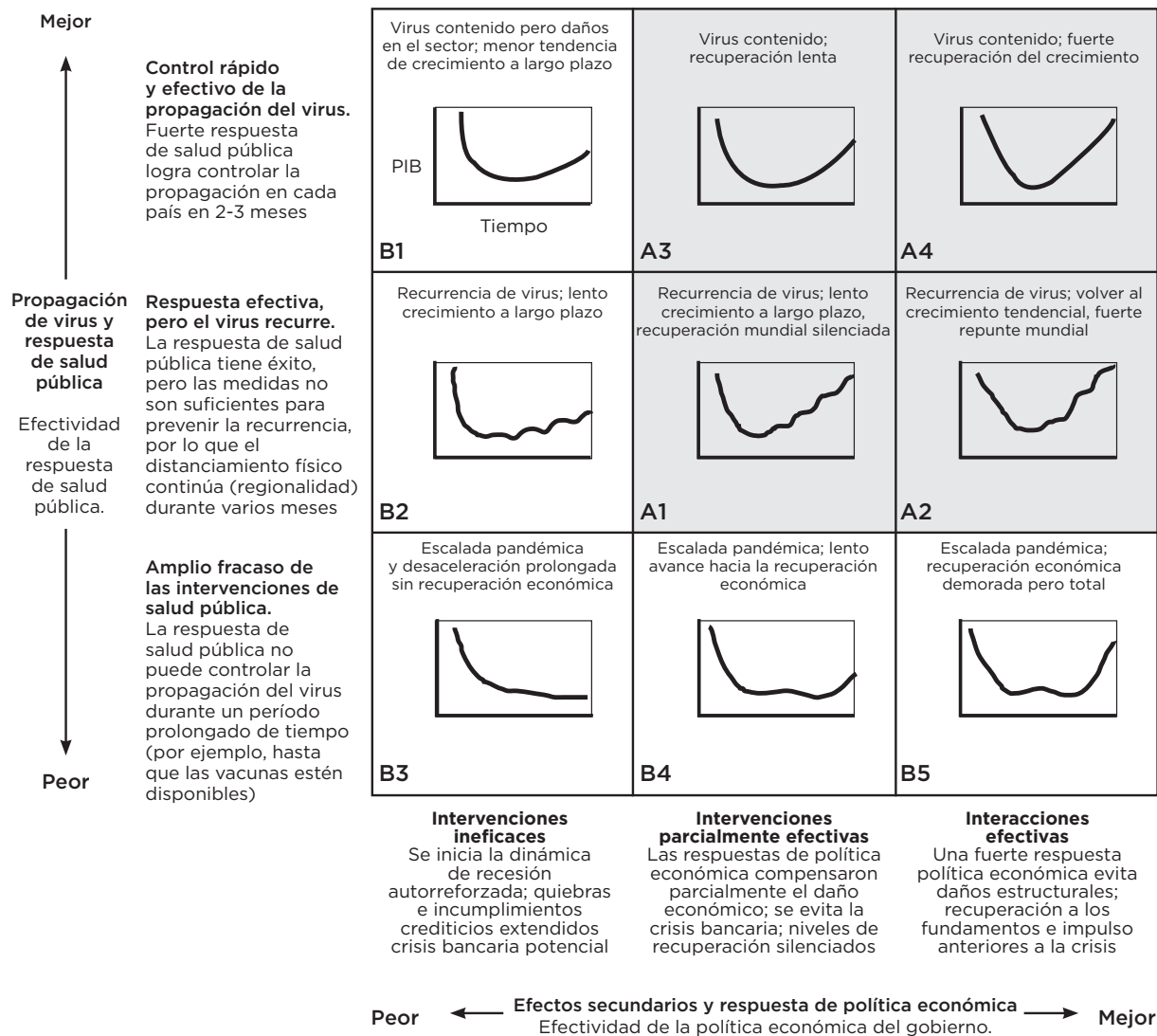
17 FMI advierte de que una recuperación de la economía mundial es improbable en 2021. Foro Económico Mundial, 2020

18 Covid-19: la Unión Europea se prepara para la peor recesión desde 1929. France 24, 2020

19 Escenarios Macroeconómicos de Referencia para la Economía Española tras el Covid-19. Banco de España, 2020

20 idem

Fig. 6 **IMPACTO EN EL PIB DE LA PROPAGACIÓN DE LA ENFERMEDAD, LA RESPUESTA DE LA SANIDAD PÚBLICA Y LAS POLÍTICAS ECONÓMICAS**



Las proyecciones de recuperación dependen de la capacidad de las autoridades para aprovechar la estrecha ventana de acción que permanece abierta durante los meses de verano. La consultora McKinsey plantea nueve posibles escenarios entre la deseable recuperación en V, factible si el país controla los contagios en un máximo de tres meses y las medidas evitan daños estructurales en la economía, y el peor de los casos posibles, una caída en L a consecuencia de un fracaso prolongado en la contención del virus combinado con quiebras, impagos y crisis bancaria²¹. El 31% de los directivos cree que la respuesta será parcialmente eficaz y apuesta por una

recuperación global moderada²². (Fig. 6)

Tomando como referencia el impacto de los distintos tipos de confinamiento en las siete principales economías del mundo calculado por la OCDE, las mayores pérdidas se concentran en comercio, servicios profesionales, personales e inmobiliarios, transporte y hostelería y construcción, con interrupciones de actividad de hasta el 30%²³.

A escala global, las manufacturas y el transporte y el turismo son los sectores que absorben el mayor

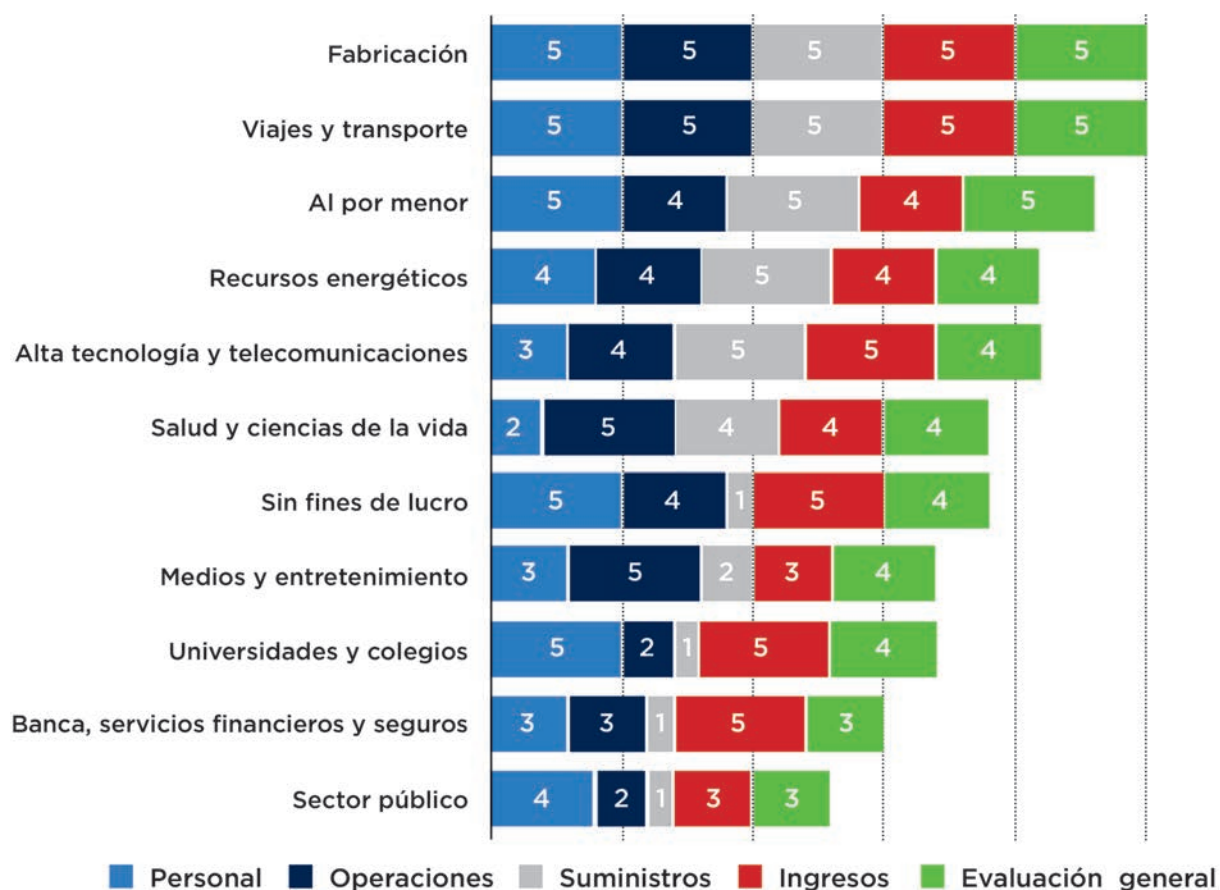
21 COVID-19 Briefing materials. Global health and crisis response. McKinsey, 2020

22 idem

23 Evaluating the initial impact of COVID-19 containment measures on economic activity. OCDE, 2020

Fig. 7 IMPACTO DEL CORONAVIRUS EN LOS GRANDES SECTORES

La intensidad se evalúa del 1 (menor) al 5 (grave) en 2020.



Fuente: Statista, 2020

impacto de la crisis, con la totalidad de su cadena de valor afectada en grado máximo por la pandemia en 2020. Comercio, energía, tecnología y telecomunicaciones, sanidad y tercer sector muestran una exposición algo menor. Medios de comunicación, enseñanza, finanzas y sector público resisten mejor que las demás industrias el embate de la COVID-19²⁴. (Fig. 7)

TECNOLOGÍA CONTRA PANDEMIAS

El futuro va a exigir el desarrollo de soluciones tecnológicas que contribuyan a una lucha común contra el enemigo recurrente, como los son los distintos coronavirus que han causado distintos brotes epidemiológicos en las últimas décadas.

Las soluciones de seguimiento de población ocupan el centro del debate sobre la tecnología y su papel en amenazas sanitarias. Los sistemas de trazado de

contactos son herramientas que se usan con éxito en epidemias desde hace décadas y que han dado buenos resultados en los brotes recientes de Ébola, SARS y MERS²⁵. Son considerados cruciales por los profesionales sanitarios y la propia OMS para la ruta de regreso a la normalidad que pasa por hacer tests, trazar y aislar a los contagiados²⁶. Mientras se ignora quién puede estar infectado, se recurre a medidas de confinamiento para hacer tabla rasa y frenar la propagación, pero el elevado coste de la cuarentena general invita a aplicar mecanismos de control más eficientes, una vez contenida la primera andanada de la amenaza.

La dimensión de la COVID-19 obliga a replantear la sola utilización de trazadores profesionales como en otras epidemias. Aplicaciones móviles, analítica de datos e Inteligencia Artificial hacen que encontrar

24 Coronavirus (COVID-19) impact index by major sector and dimension 2020. Statista, 2020

25 Contact tracing for COVID-19: New considerations for its practical application. McKinsey, 2020

26 Five things we need to do to make contact tracing really work. MIT Technology Review, 2020

y tratar personas afectadas sea más eficaz hoy que nunca²⁷. La población y los movimientos que dispersan el virus son tan masivos que se hace imprescindible apoyar a los investigadores con seguimiento vía smartphone. En esta pandemia se han lanzado aplicaciones privadas como las propuestas por Apple y Google y también estatales, como es el caso de la app TraceTogether del gobierno de Singapur.

En muchas ocasiones, estos sistemas plantean conflictos con la normativa de protección de datos y no pueden sustituir en ningún caso las pesquisas manuales²⁸. Las voces más críticas alertan de la pérdida de libertades y el control a través del rastreo digital y la exposición de datos personales. Destaca el caso de China que obligó a los habitantes de más de 200 ciudades a descargarse una aplicación que asigna el llamado “código de riesgo” a cada ciudadano para poder controlar sus posibilidades de movimiento²⁹.

Otro gran protagonista por el impacto social y el rendimiento que ha presentado es el teletrabajo o trabajo en remoto. El confinamiento le ha dado la oportunidad para confirmarse como facilitador de la flexibilidad y la conciliación familiar que venían reclamando muchos trabajadores para tiempos ordinarios. Sin embargo, los problemas relacionados con la duración de la jornada laboral, la seguridad y el derecho a la desconexión demandan la búsqueda de soluciones legales ad hoc para esta tecnología de cuya continuidad tras la pandemia pocos dudan.

La madurez del comercio electrónico, que desde hace varios años despliega innovadoras redes logísticas por todo el mundo, ha mantenido la demanda de productos de difícil acceso en los países con encierros más duros. Asimismo, los *marketplace online* han facilitado que comercios tradicionales puedan dar salida a su stock y aliviar la carga financiera de sus propietarios³⁰. La fiabilidad de estas tecnologías ha fomentado además el uso de métodos telemáticos de pago, hecho que, unido a la desconfianza por temor al contagio, puede acelerar la anunciada y postergada desaparición del dinero en metálico. En España, los cajeros automáticos dispensaron un 68%

menos de efectivo durante el mes de marzo³¹.

Otras aplicaciones TIC como la educación a distancia o la mencionada telemedicina han expandido su alcance y aceptación durante la pandemia. Ambas tienen un enorme recorrido tanto en emergencias similares como en periodos ordinarios, gracias en parte a las posibilidades que brindan la IA o el Internet de las Cosas con aplicaciones ya en funcionamiento como chatbots o dispositivos de salud inteligentes³². Durante la crisis de la COVID-19, algunos investigadores están entrenando algoritmos para detectar focos, nuevos patrones y relaciones causales de la enfermedad aprovechando la información recogida por sistemas de telemedicina³³.

Como ejemplo híbrido de telemedicina y formación a distancia aparecen las aplicaciones recién lanzadas de la OMS WHO Academy y WHO Info. La primera presta apoyo a los profesionales de la sanidad durante la pandemia y la segunda ofrece información a los ciudadanos³⁴.

Algunos expertos consideran que ha llegado la hora de incorporar tecnologías semimaduras como blockchain o la propia IA a los sectores tradicionales, como el turismo. Su diversidad de aplicaciones puede facilitar necesidades urgentes como privacidad en el rastreo de individuos o una distribución inteligente del espacio que permita preservar la distancia social sin renunciar a maximizar la recuperación³⁵ de la hostelería. Industrias consolidadas también destacadas en este informe, como los sistemas satelitales, dedican parte de su actividad a aminorar el impacto del riesgo sanitario, controlando en este caso el movimiento de poblaciones de huéspedes animales desde el espacio³⁶.

La respuesta coral de la tecnología a las necesidades de la pandemia ha permitido a la población descubrir el valor de campos con menor grado de normalización o popularidad. Es el caso de la nanotecnología, con ejemplos en España de sus aplicaciones

27 *The Tech That Could Be Our Best Hope for Fighting COVID-19—and Future Outbreaks*. Time, 2020

28 *Five things we need to do to make contact tracing really work*. MIT Technology Review, 2020

29 *Epidemiología digital*. El País, 2020

30 *La venta 'online' de alimentos se triplica impulsada por el confinamiento y el teletrabajo*. Europa Press, 2020

31 *El coronavirus amenaza con poner fin al dinero en efectivo antes de lo previsto*. El Economista, 2020

32 *10 technology trends to watch in the COVID-19 pandemic*. Foro Económico Mundial, 2020

33 *The Tech That Could Be Our Best Hope for Fighting COVID-19—and Future Outbreaks*. Time, 2020

34 *Lanzamiento de las aplicaciones para móvil WHO Academy y WHO Info*. OMS, 2020

35 *Innovación frente al virus: ganar la postguerra*. El País, 2020

36 *The Space Economy in Figures. How Space Contributes to the Global Economy*. OCDE, 2019

antimicrobianas³⁷; la robótica, que ha desempeñado labores de vigilancia, transporte o desinfección en algunos países o la impresión 3D, insospechada heroína de las unidades de cuidados intensivos al generar componentes fundamentales para respiradores en medio de una gran escasez de suministros³⁸.

Quienes desconfiaban de la capacidad de una economía como la española para adaptarse rápidamente a los cambios han comprobado cómo fabricantes de plásticos se han transformado en proveedores de material sanitario en tiempo récord, han visto al sector textil especializarse de golpe en productos para hospitales o han presenciado cómo la industria química o la automotriz abandonaban sus planes de producción para fabricar desinfectantes o respiradores como si los demandara un frente de guerra.

En medio de una emergencia como pocas personas vivas recuerdan, los estados no olvidan la importancia que tiene la innovación para superar los desafíos universales. De momento, el apoyo a la I+D+i tanto en nuestro país, a través de ministerios, comunida-

des e incluso ayuntamientos, como desde la Comisión Europea está centrado en ayudas y subvenciones para proyectos relacionados con la COVID-19³⁹. Pero la demanda de personalidades científicas para dirigir más apoyos a la ciencia aplicada y la tecnología para superar este reto con nuevas soluciones en todos los campos ya se ha hecho oír⁴⁰.

Innovación no sólo en políticas, sino también en política. La pandemia ha evidenciado que los problemas globales no se solucionan con cierres de fronteras ni interpretaciones personalistas de los hechos. Algunas voces piden nuevas formas de intervención como la que representaría un ministerio de salud global⁴¹. Enfoques integradores como la denominada OneHealth, que atiende al tiempo las necesidades sanitarias de personas, animales y ecosistemas, cobran autoridad en momentos como el presente.

La COVID-19 nos ha puesto frente al espejo. Podemos seguir la carrera demencial hacia el caos ignorando las advertencias o aprovechar este drama para reescribir nuestra forma de estar en el planeta. •

37 Javier García: «En las próximas semanas comenzaremos la fabricación de más de un centenar de respiradores». Información, 2020

38 10 technology trends to watch in the COVID-19 pandemic. Foro Económico Mundial, 2020

39 Innovación frente al virus: ganar la postguerra. El País, 2020

40 Tecnología contra la pandemia: propuestas y reflexiones de 18 expertos. El País, 2020

41 Eduardo Madina: «Nuestro sistema sanitario merece más atención». Ethic, 2020