INTEC 2021

DIEZ TECNOLOGÍAS PARA IMPULSAR A ESPAÑA



FUNDACIÓN RAFAEL DEL PINO | CÁTEDRA CIENCIA Y SOCIEDAD

Índice

00. Análisis y hoja de ruta
P. 10

01. Telemedicina
Tecnologías digitales para la medicina del futuro
P. 42

02. Fotónica
Tecnologías de la luz para superar la Ley de Moore
P. 74

03. Hidrógeno
Nuevos procesos para su generación
P. 106

04. Neurociencias
El cerebro, la última frontera
P. 140

05. Matemáticas para el procesamiento de datos
P. 170

06. Realidad aumentada
Mejorar la productividad y enriquecer la experiencia de usuario
P. 200

07. Tests rápidos
Cómo democratizar y descentralizar la medicina
P. 236

08. Supercomputación
Tecnología para calcular, simular y optimizar procesos
P. 266

09. Agricultura de precisión
Una oportunidad para conseguir cultivos sostenibles
P. 308

10. Nanomedicina
Más allá de la liberación controlada de fármacos
P. 330

Saluda
Javier García Martínez



El año 2020 ha sido el año de la ciencia. En apenas diez meses los científicos pusieron a nuestra disposición no una, sino varias vacunas seguras y eficaces para combatir una enfermedad que no conocíamos hace poco más de un año. Algunas de estas vacunas están basadas en ARN mensajero, una tecnología que, hasta hace unos meses, era solo objeto de investigación en unos pocos laboratorios. Vayan estas primeras líneas para agradecer a todas aquellas personas que con su inteligencia, esfuerzo y entrega nos ayudan a luchar contra las enfermedades.

Pero la COVID-19 ha tenido otras consecuencias más allá de nuestra salud. Esta pandemia ha puesto de manifiesto algo que ya sospechábamos, que España está peor preparada que otros países desarrollados para enfrentar crisis económicas. Esto es algo que ya experimentamos tras la crisis de 2008, una crisis que tenía otras causas pero que dejó el mismo reguero de desempleo, desigualdad y contracción de nuestra economía. De hecho, la Organización para la Cooperación y el Desarrollo Económicos (OCDE) informaba recientemente de que España fue la economía desarrollada más golpeada por la crisis en 2020, con una caída del PIB del 11%, la mayor de nuestra historia en tiempos de paz.

La pandemia causada por la COVID-19 ha tenido un impacto muy importante sobre nuestra economía y nuestra forma de vida, pero no será la única amenaza a la que tendremos que enfrentarnos en los próximos años. Ya sabemos que el cambio climático, la resistencia a los antibióticos, la escasez de recursos y el aumento de la contaminación constituyen amenazas urgentes y muy serias para nuestra sostenibilidad y, por supuesto, también para nuestra economía. Todos estos desafíos, y otros muchos de los que nos advierten los expertos, tienen su solución en la ciencia. Aquellos países que dispongan del talento y la capacidad de inventar las soluciones a estas y otras amenazas similares estarán en mejores condiciones para hacer frente a nuevas crisis.

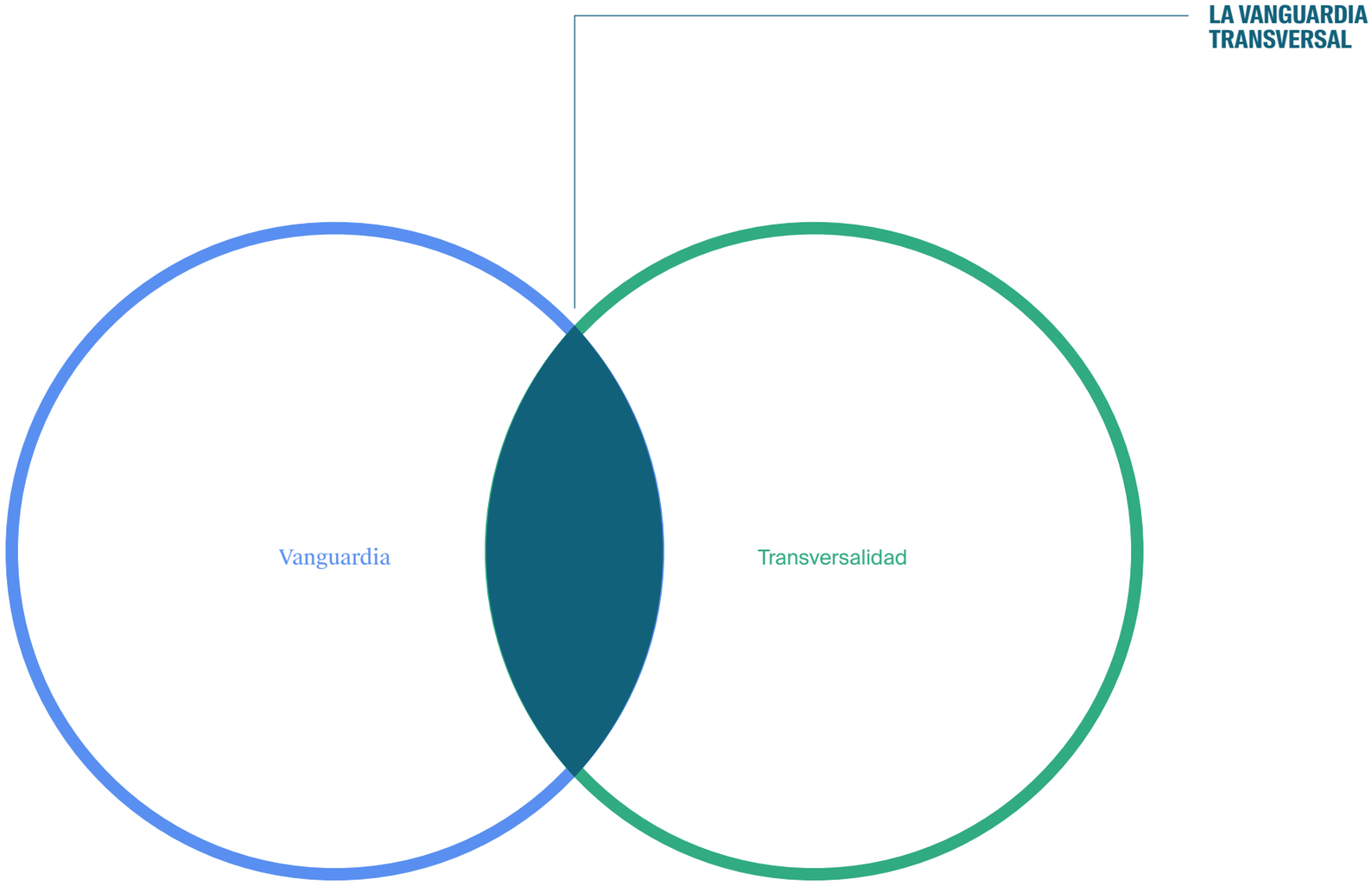
Este informe que tienes entre tus manos es el resultado del trabajo de todo el equipo que formamos parte de la Cátedra de Ciencia y Sociedad de la Fundación Rafael del Pino. Con él pretendemos analizar, seleccionar y priorizar aquellas tecnologías que, atendiendo a la realidad de nuestro país, constituyen nuestra mejor hoja de ruta para mejorar la competitividad, complejidad y resiliencia de nuestra economía. No se trata, por lo tanto, de una lista de tecnologías favoritas ni de los mayores avances científicos del año. Por el contrario, son el resultado de un proceso de análisis y selección para que nuestro esfuerzo por mejorar la competitividad de nuestra economía sea lo más eficaz, focalizado e inteligente posible. No es frecuente en nuestro país hacer un análisis de prospectiva como el que realizamos en la Cátedra; por eso, consideramos que el trabajo que presentamos aquí es especialmente necesario y oportuno en un momento en el que debemos repensar nuestro sistema productivo.

Los fondos de recuperación europeos son una oportunidad excepcional para transformar la economía de nuestro país para que esté mejor preparada de cara a nuevas crisis. Entre las tecnologías que seleccionamos en la edición de este año destacan aquellas relacionadas con la transición energética y el mejor uso de los recursos naturales como la agricultura de precisión. Entre las tecnologías de este año se encuentran también aquellas relacionadas con la digitalización de nuestra economía y sus distintas aplicaciones como la realidad aumentada, la supercomputación, la fotónica integrada y el uso de las matemáticas para el análisis profundo y eficiente de los datos. Pero, sin duda, y como no podría ser de otro modo, entre las diez tecnologías seleccionadas este año destacan las que tienen que ver con la salud, como los test rápidos, la nanomedicina y las neurociencias, áreas en las que España cuenta con excelentes profesionales y que constituyen una oportunidad para dinamizar un sector clave para el futuro de nuestro país y para hacer un mejor uso de nuestros recursos.

Si utilizamos los fondos europeos para comprar las tecnologías que desarrollan otros jamás saldremos de la posición de dependencia y debilidad que caracteriza a nuestra economía. Debido a la abundancia de estos fondos y a la urgencia con la que tenemos que utilizarlos, corremos el riesgo de gastarlos sin estrategia ni selección. Teniendo en cuenta cómo hemos desaprovechado fondos anteriores es probable que este dinero se utilice para acrecentar los problemas que nos han llevado hasta aquí; es decir, para agrandar los pies de barro de nuestra economía. Si por el contrario utilizamos estos fondos para desarrollar e implantar las tecnologías que aquí se describen, podremos construir la economía del conocimiento que nos permita salir de la espiral de desempleo, precarización y baja competitividad que han caracterizado a nuestro sistema productivo desde hace décadas.

Este informe es el fruto del trabajo de muchas personas. En primer lugar, de sus redactores y coordinador a los que quiero agradecer de forma muy especial su buen hacer y compromiso con este proyecto. Ellos son Eugenio Mallol, Fernando Gomollón y Jordi Sanchez. Nada de esto hubiera sido posible sin ellos. Este año hemos hecho también un esfuerzo decidido para que contenido y continente tengan un sentido único que se complemente y refuerce. Por eso hemos confiado el diseño del informe a la empresa Germinal, galardonada en distintas ocasiones por la calidad e innovación de su trabajo. Quiero destacar y agradecer el esfuerzo y la dedicación de sus profesionales para hacer de nuestro informe una herramienta a la vez útil y atractiva. Sin duda, la labor más difícil y a la vez crítica, es la selección de las tecnologías que por su oportunidad y capacidad suponen la mejor ocasión para impulsar la competitividad de nuestro sector productivo. Esta selección la hemos llevado a cabo un grupo de expertos seleccionados que representamos distintos campos del conocimiento. Este año hemos ampliado nuestro comité de expertos para expandir nuestra calidad para identificar y analizar nuevas tecnologías. Por todo ello, quiero agradecer a nuestros expertos que hayan propuesto un buen número de excelentes propuestas de las que hemos elegido las diez tecnologías que destacamos en el informe de este año. La Fundación Rafael del Pino, casa y origen de esta cátedra, aporta, de esta manera, una guía con la que fortalecer nuestra economía y prepararla mejor ante futuras crisis. Quiero agradecer, una vez más, a la Fundación por la confianza y el cariño con los que reciben y apoyan mis iniciativas. Espero que hayamos sido capaces de resumir y explicar cómo estas tecnologías constituyen, cada una de ellas, una oportunidad que nuestro país no puede dejar escapar.

00.
Análisis y hoja de ruta



En clave

El presente informe pretende aportar fundamentos rigurosos de análisis económico y tecnológico para el ejercicio de prospectiva y de identificación de prioridades que debe hacer España en el inicio de una década clave. Con el asesoramiento de un selecto grupo de investigadores de diferentes ámbitos, hemos señalado 10 tecnologías emergentes que ofrecen hoy una oportunidad única para que nuestro país hable el lenguaje de la innovación global con voz propia. Se trata, por consiguiente, de una llamada a la acción.

Escenario

Por alguna razón, España se siente más cómoda comprando que desarrollando tecnología. Son numerosos los indicadores que sitúan a nuestro país en los primeros puestos en implantación de infraestructuras TIC, movilidad inteligente y otras soluciones tecnológicas de vanguardia. En ámbitos como la conectividad móvil o las nuevas plataformas de pago, el mercado español es tradicionalmente el primer banco de pruebas para las grandes corporaciones globales. También existen distintos estudios que destacan la calidad de la investigación española, tanto en volumen de personal como de publicaciones. El European Innovation Scoreboard 2020[1], por ejemplo, ratifica un contundente liderazgo en doctorados universitarios y en penetración de la banda ancha, en ambos casos considerablemente por encima de la media de la UE. Pero nada de ello es capaz de provocar un cambio significativo de nuestro modelo económico. Dentro del mismo informe, las tasas de pymes innovadoras, de inversión en I+D de las empresas, de patentes o de colaboración dentro del sector privado y entre este y el sector público arrojan una impresión de tiempo detenido. Como si Europa hubiera seguido avanzando, a su jurásico ritmo, pero España se conformara con vivir al margen de la revolución tecnológica. Como si la hiperconectividad de la que hacemos gala sólo nos sirviese para adquirir tecnología del exterior.

Nada más lejos de lo deseable. Es una cuestión de Estado, y así debería abordarse, porque vivimos la hora de las grandes decisiones. Nuestras elecciones de hoy van a determinar el destino de nuestro país en el presente siglo, dado que se está produciendo uno de esos enormes cambios de ciclo tecnológico capaces de reconfigurar economías enteras, de rediseñar cadenas de suministro y de recolocar a las regiones en órdenes de magnitud distintos en la escala del bienestar y la prosperidad.

La pandemia de la Covid-19 se ha desplomado sobre las sociedades y las empresas con una potente carga disruptiva. Ha consolidado algunas soluciones tecnológicas en el ámbito de la biotecnología, la química de los materiales y la servitización; ha hecho emerger otras, en terrenos como la logística en tiempo real, la robótica y la supercomputación; ha logrado despertar a algunas que permanecían latentes, como la realidad aumentada, la monitorización de la salud y los vehículos autónomos; y ha desintegrado paradigmas enteros, como los que mantenían desacopladas (confortablemente desacopladas quizás para muchas organizaciones), las áreas de información y de operaciones en la cadena de valor. Una nueva normalidad sobrevendrá y será inevitablemente distinta a la que precedió al coronavirus.

Y el desafío no es sólo económico. Si queremos que los valores fundamentales de nuestra sociedad pervivan, estamos obligados a llevarlos a la práctica de forma distinta. El gigante de la logística DHL llama 'Pre-Nueva Normalidad'[2] a la fase en la que nos hemos instalado entre el fin del confinamiento y el inicio de la Nueva Normalidad y advierte de que ese periodo intermedio tendrá una duración variable, mayor en algunos países y sectores que en otros. Dependerá de lo que tardemos en asimilar que todo lo que hasta hace poco nos planteábamos como una aspiración tecnológica, desde la automatización a la eficiencia en la gestión de recursos y la capacitación de nuestra fuerza laboral, hoy forma parte de ese mínimo común sin el cual ni siquiera se puede llamar a la puerta del club de los países en la antesala de la Nueva Normalidad. Esta fase de transición se caracteriza por la incertidumbre, por fluctuaciones enormes de la demanda en periodos cortos de tiempo y por diferentes canales, implicará un enorme esfuerzo de adaptación, resiliencia e inteligencia de negocio. Es un periodo de selección natural de sociedades.

Vivimos la hora de las grandes decisiones, hay que insistir en ello. Asistimos a la transformación de una economía basada en el petróleo y concebida a escala individual, a otra que debe ser capaz de conciliar el imperativo de la sostenibilidad del planeta con el de la rentabilidad. Un nuevo capitalismo en el que el concepto de beneficio va más allá del estricto círculo de

los accionistas de la empresa, modelo imperante en el mundo occidental, y no está sometido a la fortificación de un estatalismo sin garantías democráticas, como propugna una China que camina sin obstáculos hacia el liderazgo económico. El presidente del Foro Económico Mundial, Klaus Schwab, ha actualizado esta visión, por la que ya apostaba en sus trabajos de los años 70, en su reciente libro *Stakeholder Capitalism*[3], al que antecede otro con un título elocuente: *COVID-19: The Great Reset.*

La acumulación y transferencia de conocimiento constituye una cuestión de Estado.

La tecnología es la palanca clave, porque es el medio a través del cual se expresa la energía transformadora. La acumulación y transferencia de conocimiento constituye, en consecuencia, una cuestión de Estado. De ella dependerá en el futuro la capacidad de las sociedades para ejercer su soberanía y será sin duda sobre su suelo donde se desplegará el nuevo terreno de juego de la democracia. Incluso más: como han interiorizado ya muchos países, la tecnología se convertirá en el gran asunto de seguridad nacional. Así que esa actitud propensa a la compra, y no tanto a la generación, de conocimiento no parece un buen negocio para España. Ni desde el punto de vista económico ni desde el social.

Cambio de tendencia en España

A principios de la pasada década se produjo un punto de inflexión en nuestro país en materia de inversión en investigación. En 2010, se inició un distanciamiento con Europa en lo que a porcentaje de personal empleado en I+D respecto a la población total ocupada se refiere, y ocho años después la brecha era ya del 1,45% frente al 1,18% nacional. En 2013, la inversión de las empresas en I+D superó a la del sector público, que en 2018 se encontraba ya a 1.100 millones de euros de distancia. Entre 2014 y 2018, la financiación pública de las universidades españolas creció en 679 millones, un 7,6% más. En ese mismo periodo, generaron un 15,35% más de publicaciones científicas (WoS), pero el número de patentes que solicitaron se desplomó un 30,67%, hasta totalizar apenas 461 el conjunto del sistema universitario español[4]. La situación de las grandes compañías no resulta más alentadora en ese sentido: en 2020, Amadeus SAS fue la empresa del Ibex que más patentes europeas solicitó y, aunque ascendieron a sólo 60, se situó a mucha distancia de otras compañías que han ido perdiendo empuje, como Telefónica (17 patentes) o Repsol (14)[5].

Quizás el dato más elocuente es el de la evolución de la productividad en España medida en PIB por hora trabajada, un indicador fuertemente ligado a la economía del conocimiento. Según las estimaciones de la OCDE[6], en 1995 la productividad se situaba en nuestro país en 44,7 dólares en PIB por hora trabajada, 4,1 dólares por debajo del dato de Estados Unidos, 2,5 menos que la media de la entonces UE-19, 6,4 menos que Alemania y 0,7 dólares por encima de Reino Unido. En 2019, la productividad española había crecido hasta los 52,5 dólares, pero a un ritmo significativamente inferior que el resto: en Estados Unidos se situó en 71,8 dólares, en la UE-27 era de 54,5 dólares, en Alemania de 66,4 dólares y en Reino Unido de 58,4 dólares.

En 2019, la productividad española (PIB por hora trabajada) creció hasta los 52,5 dólares, pero a un ritmo significativamente inferior que Estados Unidos, Alemania o Reino Unido.

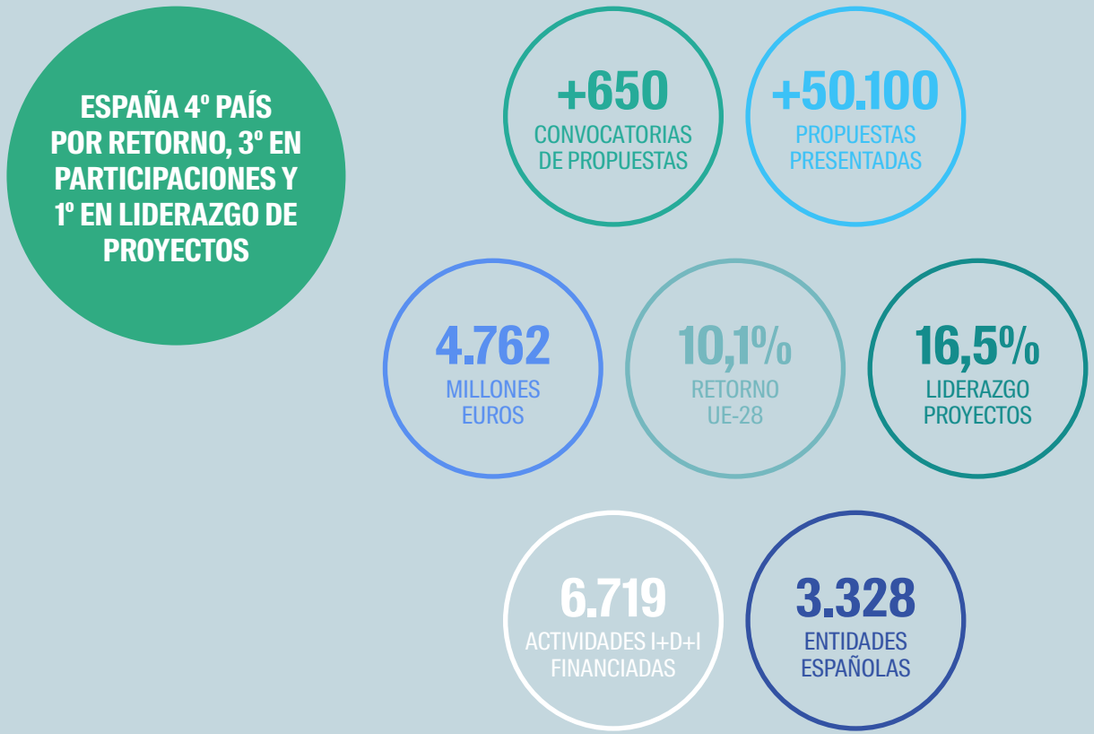
A pesar de eso, durante la pasada década también se han registrado motivos para el optimismo, siempre y cuando se resuelva eso sí la gran asignatura pendiente de nuestro país, la de la transferencia tecnológica. En el recientemente finalizado programa europeo de ayudas a la I+D Horizonte 2020, España consiguió situarse como el cuarto país por tasa de retorno (10,1%), el tercero en participación y, sobre todo, el primero en liderazgo de proyectos (16,5%). La tasa de éxito en la presentación de iniciativas al programa resultó muy interesante, del 13,4%, con 2.410 empresas incluidas, el 82% de ellas pequeñas y medianas empresas. España fue el primer país en proyectos aprobados en las áreas de Pymes y “Ciencia con y para la Sociedad”; y el segundo en las categorías de “Retos Sociales: Clima, Medio Ambiente y Materias Primas” y de “Liderazgo Industrial: Nanotecnologías, Materiales, Biotecnología y Fabricación”[7]. Es obvio que hay, por tanto, grandes líneas de conocimiento en las que España puede aspirar a hablar con voz propia en el panorama internacional. Siempre que sea capaz de poner en marcha el plan adecuado.

Fuente: CDTI.

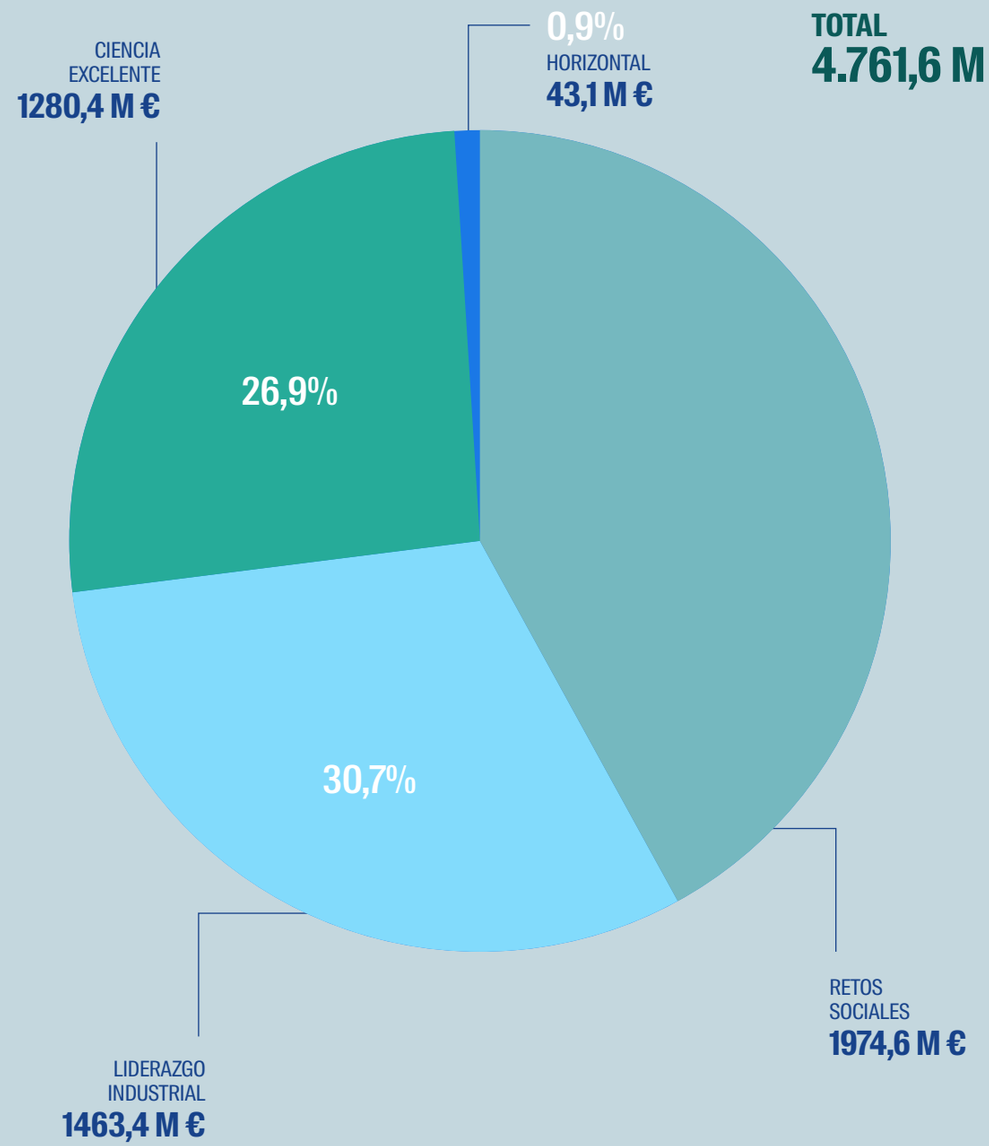
FIGURA 1.

PARTICIPACIÓN ESPAÑOLA EN HORIZONTE 2020. ESPAÑA SE SITÚA COMO CUARTO PAÍS POR RETORNO, TERCERO EN PARTICIPACIONES Y PRIMERO EN LIDERAZGO DE PROYECTOS DENTRO DEL PROGRAMA DE LA UE HORIZONTE 2020. EN LIDERAZGO DE PROYECTOS, DESTACAN LAS ÁREAS TEMÁTICAS DE TECNOLOGÍAS DE LA INFORMACIÓN Y LA COMUNICACIÓN (ICT), NANOTECNOLOGÍAS, MATERIALES, BIOTECNOLOGÍA Y PRODUCCIÓN (NMBP) Y TRANSPORTE (TRS).

RESULTADOS PARTICIPACIÓN ESPAÑOLA HORIZONTE 2020



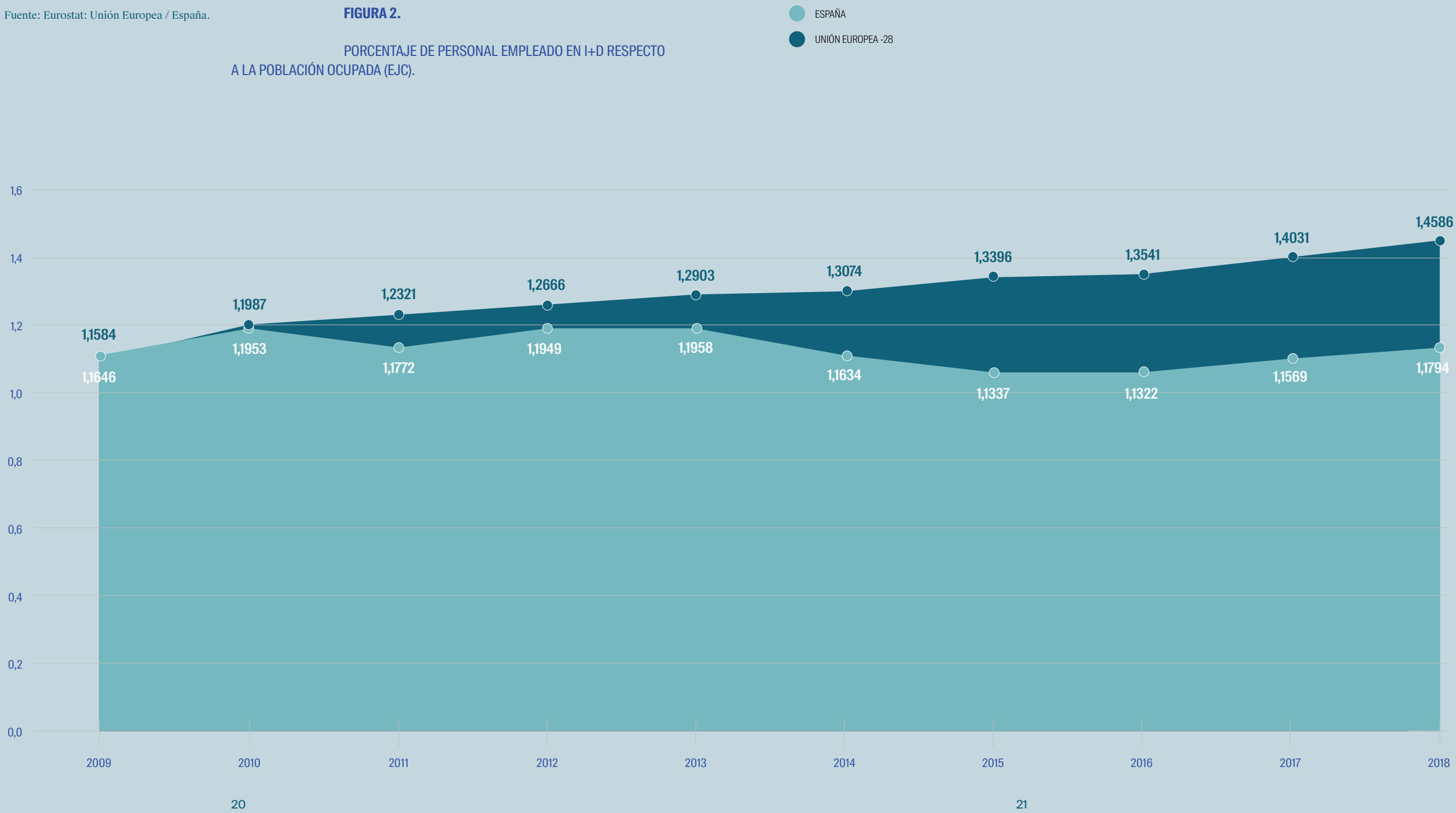
RETORNO POR PILARES



Fuente: Eurostat: Unión Europea / España.

FIGURA 2.

PORCENTAJE DE PERSONAL EMPLEADO EN I+D RESPECTO A LA POBLACIÓN OCUPADA (EJC).



El Ministerio de Ciencia e Innovación ha publicado, en ese sentido, la Estrategia Española de Ciencia, Tecnología e Innovación 2021-2027[8], que pretende sentar las bases para una acción coordinada que permita alcanzar cinco grandes propósitos: contribuir a los Objetivos de Desarrollo Sostenible de la Agenda 2030; apuntalar las prioridades políticas de la UE mediante el alineamiento con sus programas de I+D+I; apoyar los grandes desafíos de los sectores estratégicos nacionales en beneficio del desarrollo social, económico, industrial y medioambiental; generar conocimiento y liderazgo científico, aplicados al desarrollo de tecnologías que puedan ser transferidas a las empresas; y la atracción, recuperación y retención del talento. Junto a esta iniciativa, confluyen las derivadas del Plan de Recuperación, Transformación y Resiliencia[9] y de la nueva remesa de fondos europeos para I+D articulados fundamentalmente en torno al programa Horizon Europe[10], con un presupuesto de 95.500 millones de euros.

Los fondos financieros, que en 2019 tuvieron un no ejecución del 74%, predominan en la partida de I+D+i de los presupuestos.

Pero el problema de raíz que hay que atajar en España no es estrictamente financiero, sino de modelo, es un desafío sistémico. Asistimos a la paradoja de liderar más proyectos europeos de investigación tecnológica que ningún otro país, mientras, como refleja la OCDE en un análisis publicado en marzo de 2021, nuestro país ocupa el puesto 29, por debajo de la media europea[11], en apoyo fiscal a la I+D. Ahonda en esa asincronía, entre el potencial de nuestro tejido productivo y la acción política, el hecho de que en los Presupuestos Generales del Estado de 2021 los fondos financieros suponen el 58,97% del total de fondos nacionales en la PG46 (que ha pasado a denominarse «Investigación, Desarrollo, Innovación y Digitalización»). Respecto a 2018, aumenta en 259,72 millones de euros a pesar de que en 2019, el último ejercicio fiscalizado por la Intervención General del Estado, esos fondos tuvieron una no ejecución del 74,62%[12].



La selección de tecnolgías

El presente informe aborda las posibilidades que se abren en diez campos de desarrollo tecnológico. La selección es el resultado del diálogo con expertos de primer nivel, tanto del ámbito académico como institucional y empresarial, en áreas tan distintas como la bioquímica, la neurociencia, la energía, la inteligencia artificial, las matemáticas, la óptica, los nanobiosensores, los satélites y las telecomunicaciones. Somos conscientes de que la transformación del conocimiento en la que estamos inmersos supone el paso de la Era del Dato a la Era del *Insight,* de la Visión, para lo que se requiere un concurso de voces multidisciplinar. Un cierto grado de polimatía que permita transitar entre el diálogo ingrávido y el equilibrado posibilismo.

Gracias a ello, la selección de tecnologías emergentes cumple un triple criterio: en primer lugar, todas ellas se encuentran en un punto inicial de expansión, en ese momento en el que el coste de acceso para nuestras empresas y nuestra sociedad, respecto a las posibilidades de crecimiento potencial, resulta todavía atractivo y asumible. Dentro de una década, probablemente, aquellos países que no hayan conseguido auparse al liderazgo tendrán unas barreras de entrada prohibitivas. En segundo lugar, este informe busca tecnologías con sentido para España, adecuadas y coherentes con nuestro posicionamiento investigador y nuestra trayectoria empresarial, así como con las singulares características de nuestro territorio. No se trata tanto de construir un ecosistema desde cero como de aprovechar las capacidades disponibles y articularlas. Y, por último, las tecnologías escogidas deben ser percibidas como una llamada a la acción: tanto la de los agentes que forman parte del ecosistema local, como la de los que se sitúan más allá de nuestras fronteras y buscan ávidos focos de excelencia en los ámbitos del conocimiento que más posibilidades de crecimiento ofrecen en la actualidad. España debe ser un lugar para detenerse a mirar, en el que ocurren cosas. No una estación de paso, sin parada obligatoria en el camino de la innovación.

La selección de tecnologías responde a un triple criterio:

- *Están en un punto de expansión.*
- *Adecuadas y coherentes para España.*
- *Implican llamadas a la acción.*

Se ha evitado edificar un tratado sobre tecnología concebido exclusivamente para tecnólogos y limitado sólo a los estrictos parámetros de la ciencia básica o la técnica desprovista de contexto. Este cuaderno de tecnologías es, en sí mismo, una apelación a la puesta en marcha, a la reacción. Se configura más bien como una recopilación de tendencias en torno a diez grandes vectores de transformación tecnológica, emergentes en un punto de nuestra historia, dotados de una connotación temporal, con capacidad de impacto transversal en diferentes tecnologías y sectores económicos y articulados con voluntad de hacer partícipes en el proceso de reflexión a disciplinas y ámbitos de la sociedad no necesariamente vinculados al laboratorio científico y a la empresa.

Grandes ejes

Un aspecto clave del presente informe es, por extensión, su búsqueda de una visión coherente del desafío poliédrico al que nos enfrentamos como país. Hay ejes claros que dotan de sentido a la selección de tecnologías emergentes. Uno de ellos es el camino hacia la descarbonización de la sociedad y la construcción de una economía alineada con el Pacto Verde Europeo[13], que se ha marcado el objetivo de eliminar las emisiones netas de gases de efecto invernadero en 2050. Los grandes líderes tecnológicos e industriales han incorporado a sus estrategias de acción el imperativo de alcanzar las metas de descarbonización, sostenibilidad y reutilización de recursos manteniendo la rentabilidad, lo que constituye en sí mismo un auténtico reto tecnológico.

Al que hay que añadir la revolución de las materias primas. Asistimos a una carrera de innovación dirigida a dotar a los materiales ya en explotación de nuevas funciones y a realizar las mismas funciones con distintos materiales, garantizando siempre el suministro al margen de factores geopolíticos. No debe sorprender, por eso, que un informe del United Nations Environment Programme[14] señale que la industria química mundial doblará sus ventas hasta 2030, y alcanzará los 6,6 billones de dólares (más que el PIB de Francia), sin contar a las farmacéuticas. En esa búsqueda de nuevos compuestos químicos de alto valor añadido, en muchos casos polímeros inéditos que den usos alternativos al petróleo, existe una posibilidad para la reconstrucción de un sector industrial potente en países con larga tradición en química, como España.

Otro gran eje del informe es la transformación que experimentará la sanidad, sobre la que confluyen con fuerza tanto la revolución digital como los avances que se suceden en ámbitos como la bioquímica y la neurociencia. Una salud personalizada y de precisión, con un concepto de hospitalización deslocalizada, en la que el lugar de testeo, diagnóstico y atención deja de resultar un aspecto crítico, que se muestra flexible y ágil en la generación de respuestas a las necesidades del momento. Durante la pandemia se ha podido comprobar el poder tractor de todos estos conceptos. Gracias a la disponibilidad de nuevas tecnologías los ciudadanos dejan de ser pacientes, en lo que a la prestación sanitaria se refiere, y pasan a convertirse en usuarios de servicios de salud, beneficiarios de una atención cada vez más individualizada que es posible gracias al tratamiento masivo de datos en tiempo real. Es insoslayable la implicación de soluciones en el ámbito de la neurociencia, test masivos, telemedicina, matemáticas, agricultura inteligente y supercomputación en nuestro bienestar personal en el futuro.

La industria química, un sector con una larga tradición en España, doblará sus ventas hasta 2030.

Cambiará también la relación procesos-personas-espacios, con consecuencias directas en la forma de concebir las organizaciones, en la retención del talento y, de manera singular, en los teatros de operaciones para colaborar y generar innovación. Habrá que pensar en los espacios como lugares de funcionalidad variable y en los cambios que esto provocará en la relación entre empresa y trabajador. La ola de transformación afectará también a la educación, donde el conocimiento de acceso gratuito no deja de crecer y las clases se desarrollan de forma asíncrona; y a otros ámbitos de la economía tan aparentemente inconexos como el turismo y el ocio. Sin duda, el sector inmobiliario y la propia red de comunicaciones de las ciudades van a tener que adaptarse al nuevo paradigma, en paralelo a una nueva movilidad que pondrá en el centro a las personas y no a las infraestructuras o al urbanismo.

Inteligenica artificial y la gran divergencia

En esta *Era del Insight* en la que nos estamos adentrando, la tecnología deja de ser la fuente de sentido del concepto del progreso y ganan terreno referentes de naturaleza humanista como el respeto a la privacidad, la lucha contra la desigualdad económica y la brecha de género, y la construcción de una sociedad con sustrato ético. Otro de los ejes que permiten engarzar las tecnologías emergentes es, por tanto, el de la colaboración persona-máquina y, en particular por su carácter inminente, la construcción de sistemas de inteligencia artificial sin sesgos de discriminación y respetuosa con sus usuarios y destinatarios. El desafío es implantar estos postulados en toda la cadena de valor tecnológica, desde la captación de datos que debe ser no invasiva y, por supuesto, siempre consentida, hasta el procesamiento y análisis de esos datos y su traslación a soluciones de inteligencia artificial, machine learning y deep learning. Como consecuencia colateral, recobrará protagonismo el concepto de interface entre el mundo físico y el real, una puerta que la mayor parte del tiempo permanecerá abierta.

Estamos abocados a una creciente automatización de procesos y funciones, de la que ya experimentamos consecuencias en el terreno laboral, donde se habla de la "gran divergencia"[15]: en Estados Unidos, los salarios reales han aumentado para los graduados universitarios y han disminuido para los trabajadores con título de secundaria o menos desde 1980. La Oficina de Estadísticas Laborales de ese país (BLS, por sus siglas en inglés) pronostica que creará aproximadamente seis millones de empleos netos entre 2019 y 2029, de los que 4,8 millones surgirán en solo 30 ocupaciones, dos tercios de ellas remuneradas por debajo del salario medio. Las tres ocupaciones que generarán más ocupación están vinculadas a los servicios a las personas: asistentes de cuidado personal y de salud en el hogar (1,2 millones); trabajadores de comida rápida y mostradores (0,46 millones); y cocineros de restaurantes (0,23 millones). Los tres empleos que eliminarán la mayor cantidad de puestos de trabajo neto son cajeros, secretarias y auxiliares administrativos; además de ensambladores y fabricantes diversos. Se trata de actividades que procesan información codificable y llevan a cabo tareas de ensamblaje repetitivas, susceptibles de automatización.

También se experimentan las consecuencias de la automatización en el mundo virtual, en forma de robotización de mercados financieros y de la difusión masiva de información no contrastada en redes sociales. Los gigantes de internet carecen de incentivos económicos para verificar si lo que se dice en ellas es cierto o no, porque sus beneficios no dejan de crecer con independencia de esa actividad de comprobación. Y, sobre todo, porque los algoritmos en los que se sustentan, diseñados para aprovechar vulnerabilidades psicológicas de los usuarios y para generar en ellos graduales niveles de dependencia, sucumben ante la realidad de que la información falsa se transmite un 70% más veloz y profundamente que una verdadera[16]. Sin una intervención deliberada de los desarrolladores de soluciones corremos el riesgo de convertir el contenido en un medio y no en un fin. Y cuando eso sucede, sencillamente da igual si ese contenido es o no real.

La Cuarta Revolución Industrial

El estallido de la Cuarta Revolución Industrial es otro de los grandes ejes que articula las tecnologías emergentes identificadas en este informe. Desaparece la distinción entre las áreas de información y operaciones al tiempo que se democratizan tecnologías hasta ahora fuera del alcance de las pymes. En una primera fase asistiremos a un tsunami de digitalización incipiente en la mayor parte de nuestro tejido productivo y los distintos niveles de la Administración consistente en la interconexión de los distintos silos de información que se mantienen separados, sin puentes que permitan trasvasar datos entre ellos y procesarlos. En especial asistiremos a la desaparición de las fronteras entre los sistemas ERP (enterprise resource planning), GMAO (gestión de mantenimiento asistido por ordenador), MES (manufacturing execution system) y gemelo digital. A continuación, las empresas comenzarán a diseñar estrategias de captación de datos y procesamiento adecuadas a una nueva visión de sus modelos de negocio y prestación de servicios, más acorde con la era digital. Situando al usuario en el centro, con cadenas de suministro flexibles, apoyadas en nuevas redes comerciales y en instrumentos de marketing personalizado que integren las tecnologías de la intención, y con canales de distribución fácilmente intercambiables entre el mundo físico y el virtual.

Ya no hay duda de que el primer impacto de la 5G en lo que a su potencial disruptivo se refiere se producirá en el ámbito industrial, para configurar sistemas de trabajo capaces de procesar grandes volúmenes de datos en tiempo real. Sobre las futuras redes neuronales se orquestarán robots con altos niveles de autonomía, cada vez más capaces de imprimir en 3D al ritmo de producción en cadena. Todo lo cual plantea un doble desafío: en primer lugar, el de la capacitación de la mano de obra, uno de los asuntos clave para conseguir que la inversión en transformación digital no quede reducida a un simple sumatorio de recursos e infraestructuras, sino que movilice un auténtico cambio de cultura. En segundo lugar, el de la ciberseguridad, que ya no se puede limitar al perímetro de las organizaciones y debe alcanzar todos los aspectos de la vida hiperconectada.

La era digital sitúa al usuario en el centro, con cadenas de suministro flexibles, apoyadas en nuevas redes comerciales y en instrumentos de marketing personalizado.

Cambio de modelo productivo y de gobernanza

Es la hora de las grandes decisiones. Estamos en definitiva ante un documento concebido para sumarse a las voces que propugnan un cambio de modelo productivo en España, un reposicionamiento de nuestro ecosistema de ciencia e innovación en el nuevo mapa del conocimiento de base tecnológica a nivel mundial. Con estos ejes de actuación se puede construir una propuesta de país atractiva, un proyecto común ilusionante que entierre el fatalismo que ha caracterizado las dos últimas décadas e invite a nuestro sistema productivo, a la sociedad y a las instituciones públicas a mirar hacia adelante con ambición.

Sin caer en intervencionismos, que siempre se han mostrado estériles, es importante dotar de sentido a la innovación en España. Una de nuestras grandes debilidades para hablar con voz propia en los grandes debates sobre la tecnología del futuro es la fragmentación de territorios y de intenciones. El ecosistema de innovación está integrado por universidades, empresas, centros tecnológicos, organismos públicos de investigación, entes de excelencia públicos y privados, inversores de capital riesgo, startup, emprendedores, organizaciones que agrupan y representan a cada uno de estos colectivos a nivel estatal y autonómico. Todo este complejo sistema de intereses

debe acordar y concertar estrategias con un sector público que opera en diferentes planos, muchas veces de forma descoordinada y con bajos niveles de transferencia de información.

La EECTI plantea como uno de los factores clave que determinarán su éxito el de una gobernanza adecuada. Su propuesta va en línea con los numerosos estudios que han venido sucediéndose desde mediados de los 90 y que subrayan de forma insistente la necesidad de promover un modelo de gestión coordinado en el país para aprovechar lo mejor de cada uno de los actores del ecosistema de innovación. La gobernanza, fundamentada en un modelo de colaboración que propicie el acceso al conocimiento y las oportunidades, es una aspiración tan ilusionante como accesible si hay voluntad de todas las partes.

Más de 12.000 investigadores están instalados fuera de España. Una sangría que se agranda año tras año y que merece una reacción contundente.

Debe serlo para retener el talento que sigue abandonando nuestro país y busca desarrollarse en centros de excelencia del extranjero sin que su actividad científica reporte beneficio a nuestro sistema de innovación. Tener más de 12.000 investigadores desarrollando nuevas tecnologías fuera de España es una sangría, un déficit que se agranda año tras año, merece una reacción contundente. Debe serlo para esa parte de la sociedad que vive desconectada de las distintas revoluciones de base tecnológica como si el asunto no fuera con ellos. La brecha de la innovación entre regiones se traducirá tarde o temprano en una brecha de bienestar (lo está haciendo ya, de hecho). Debe serlo para que España deje de hablar en los grandes asuntos tecnológicos con la voz de Europa, sin voz propia, incapaz de articular una estrategia estimulante.

Este libro quiere ser un mapa de futuro para el país. No hay ninguna razón para conformarse y seguir siendo meros compradores de tecnología. Soluciones que hoy están al alcance de la mano en una década se habrán vuelto un lujo para diletantes. Es el momento de las grandes decisiones, de las grandes acciones, la tecnología no es una amenaza sino una enorme oportunidad de encarnar como país aquel grito que Isak Dinesen hacía brotar del corazón del artista: "¡Dejad que haga lo mejor que me sea posible!"

1. **DocsRoom - European Commission (europa.eu).**

2. **Post-Coronavirus Supply-Chain Recovery | DHL | Global.**

3. **Klaus Schwab Releases "Stakeholder Capitalism"; Making the Case for a Global Economy that Works for Progress, People and Planet > Press releases | World Economic Forum (weforum.org).**

4. **Observatorio IUNE 2020.**

5. **Patent Index 2020,** European Patent Office.

6. **Level of GDP per capita and productivity (oecd.org).**

7. **Horizonte 2020, CDTI.**

8. **EECTI-2021-2027.pdf (ciencia.gob.es).**

9. **Plan de recuperación, transformación y resiliencia (mineco.gob.es).**

10. **Horizon Europe | European Commission (europa.eu).**

11. **Measuring Tax Support for R&D and Innovation - OECD.**

12. **Informe sobre los recursos destinados a ciencia en el Proyecto de PGE 2021,** COSCE, 11 de Noviembre de 2020.

13. **Un Pacto Verde Europeo | Comisión Europea (europa.eu).**

14. **Global Chemicals Outlook II: From Legacies to Innovative Solutions | UNEP - UN Environment Programme.**

15. **The Work of the Future: Building Better Jobs in an Age of Intelligent Machines,** David Autor, David Mindell y Elisabeth Reynolds, MIT, 17 de Noviembre de 2020.

16. **The spread of true and false news online | Science (sciencemag.org).**

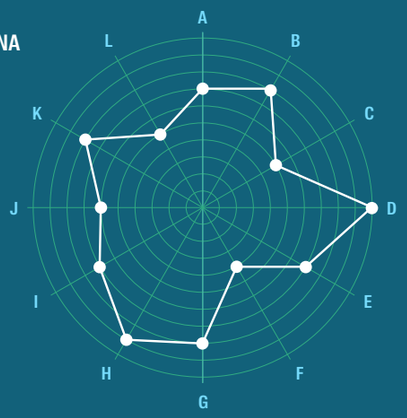
Fuente: Elaboración propia.

A. 4ª REVOLUCIÓN
B. ÉTICA
C. PROCESOS-ESPACIOS -PERSONAS
D. SALUD PERSONALIZADA
E. NUEVAS FUNCIONES, NUEVOS MATERIALES
F. DESCARBONIZACIÓN
G. EQUIDAD
H. CALIDAD DE VIDA
I. COMPETITIVIDAD
J. RESILIENCIA
K. EMPLEABILIDAD
L. ODS

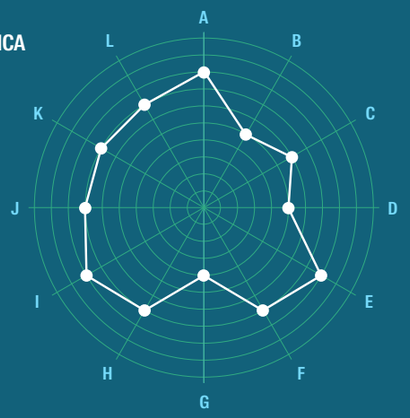
HOJA DE RUTA

LA ENCRUCIJADA QUE VIVE ESPAÑA REVELA UN DESAFÍO POLIÉDRICO QUE SE DESCOMPONE EN SEIS VECTORES DE TRANSFORMACIÓN. EL BLOQUE DE DIEZ TECNOLOGÍAS SELECCIONADAS PARA ESTE INFORME REPRESENTA UNA APROXIMACIÓN INTEGRAL Y CARGADA DE SENTIDO, PUES CADA UNA DE ELLAS INCIDE COMO VECTOR DE ACTUACIÓN PARA DAR RESPUESTAS A LOS RETOS QUE IMPLICAN ESTOS EJES.

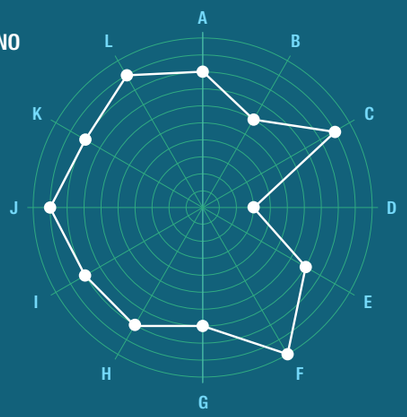
TELEMEDICINA



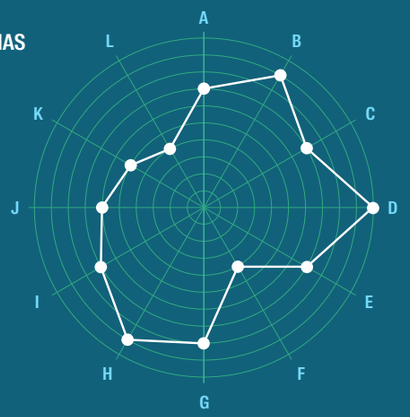
FOTÓNICA



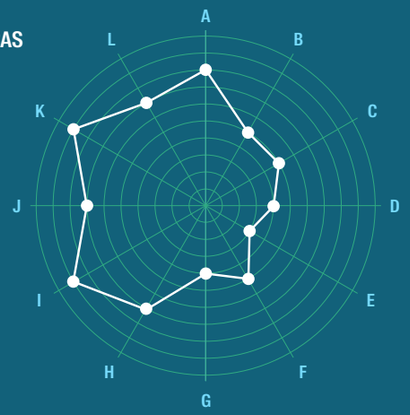
HIDRÓGENO



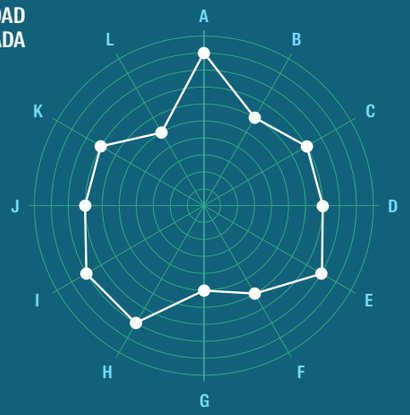
NEUROCIENCIAS



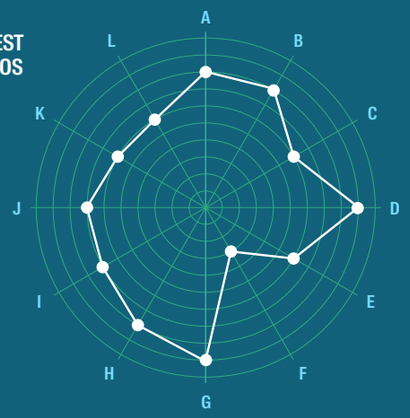
MATEMÁTICAS



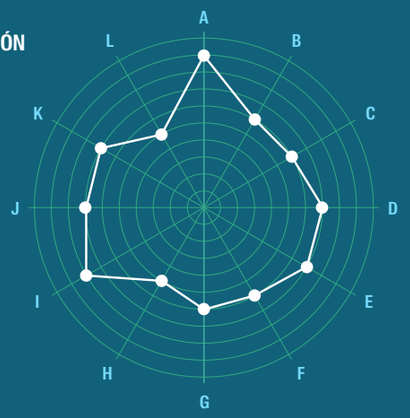
REALIDAD AUMENTADA



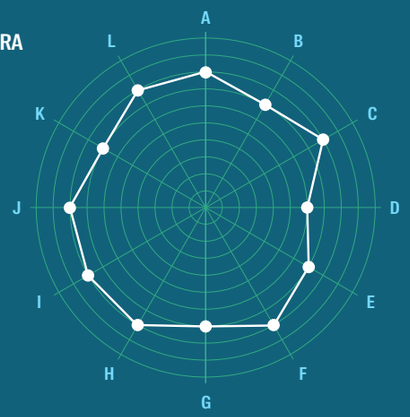
TEST RÁPIDOS



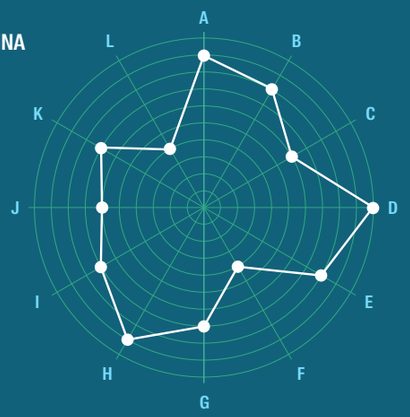
SUPERCOMPUTACIÓN



AGRICULTURA



NANOMEDICINA





01. Telemedicina
Tecnologías digitales para la medicina del futuro

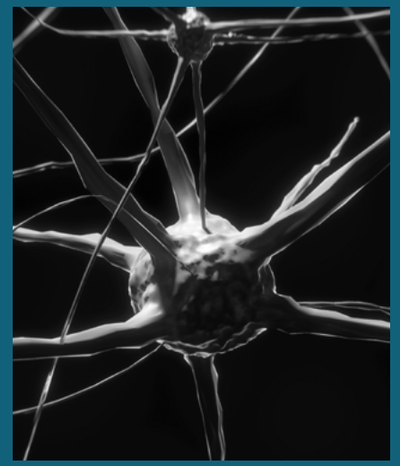
02. Fotónica
Tecnologías de la luz para superar la Ley de Moore





03. Nuevos procesos para la generación de hidrógeno

04. Neurociencias
El cerebro, la última frontera





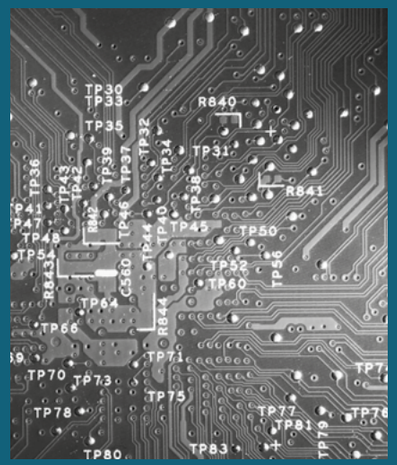
05. Matemáticas para el procesamiento de datos



06. Realidad aumentada
Mejorar la productividad y enriquecer la experiencia de usuario

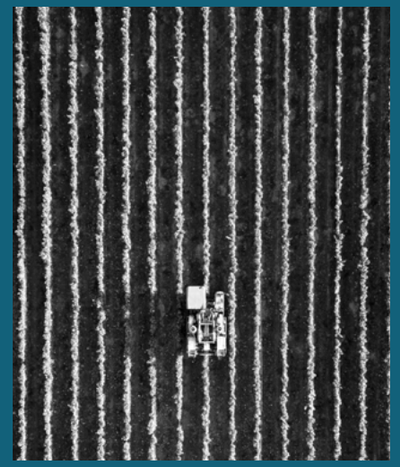
07. Tests rápidos
Cómo democratizar y descentralizar la medicina

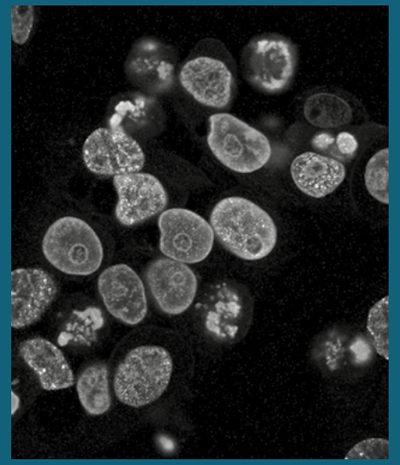




08. Supercomputación
Tecnología para calcular, simular y optimizar procesos

09. Agricultura de precisión
Una oportunidad para conseguir cultivos sostenibles

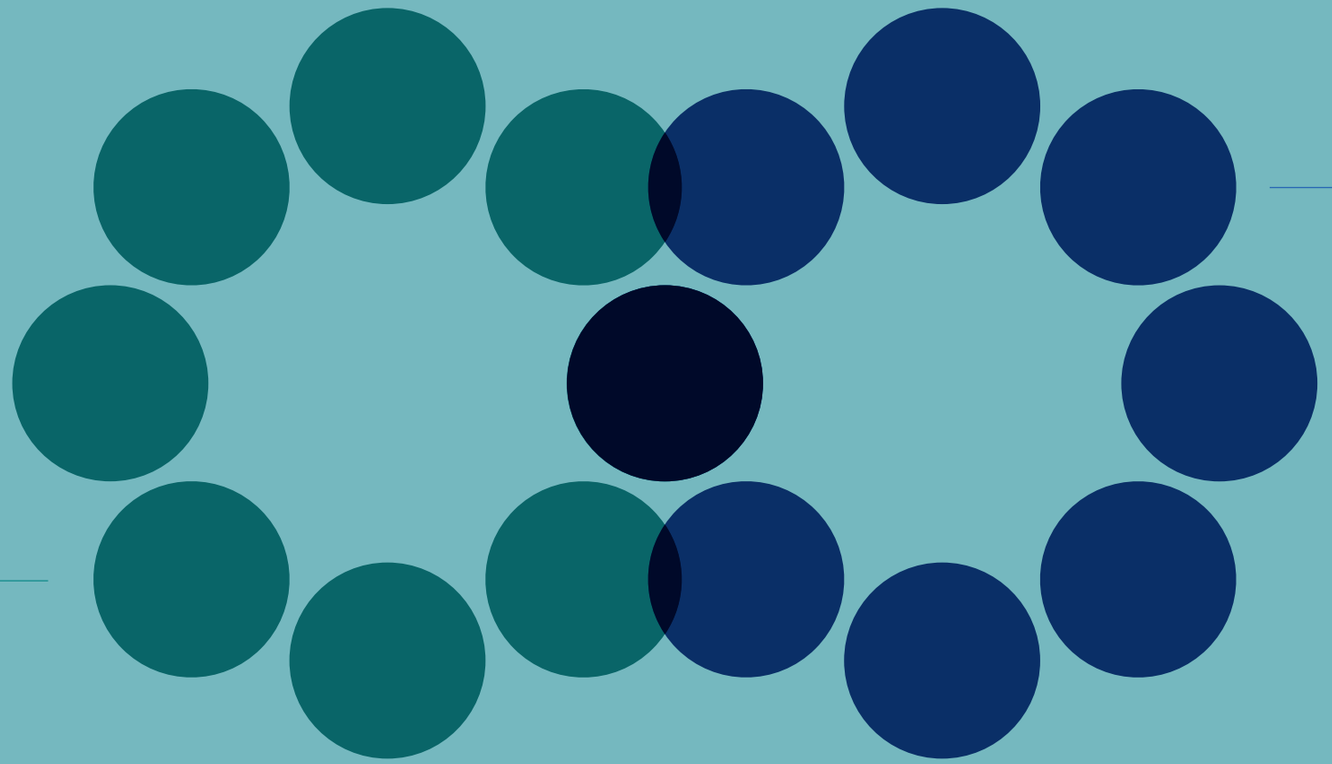




10. Nanomedicina
Más allá de la liberación controlada de fármacos

01.
Telemedicina

Tecnologías digitales
para la medicina del futuro.



/ Digitalización

Sanidad universal

En clave

Las nuevas tecnologías pueden transformar nuestras visitas al médico. Durante años, el sector de las telecomunicaciones llevaba preparándose para una revolución digital que se ha precipitado durante la pandemia de COVID-19. La medicina a distancia favorecerá el diagnóstico y tratamiento remotos y el acceso a datos, terapia y consejos médicos en tiempo real. Varios estudios indican que la telemedicina mejora la satisfacción del paciente, descarga de trabajo a facultativos y especialistas y optimiza los recursos. Sin embargo, urge reformar el sistema de salud e informar tanto a los profesionales sanitarios como a la población general para derribar cuanto antes las últimas barreras antes de su despliegue masivo. La telemedicina del futuro llega de la mano del internet de las cosas y la inteligencia artificial, entre otros avances, que permitirán una descentralización de los recursos y una mejora de la calidad asistencial.

La tecnología

Consultas a distancia para una medicina más segura y eficiente.

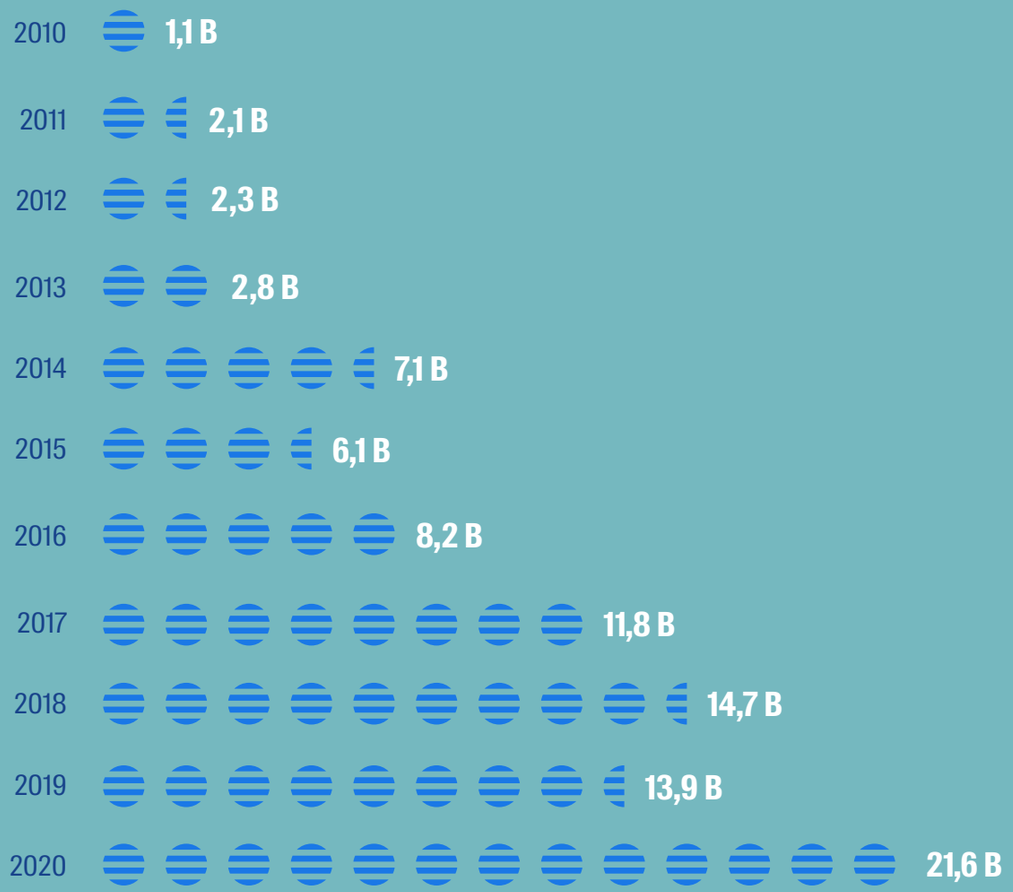
La telemedicina aprovecha los avances en telecomunicaciones y las nuevas herramientas digitales para proporcionar atención sanitaria a distancia[1]. Según la Organización Mundial de la Salud (OMS), puede ayudar a conseguir la cobertura sanitaria universal, mediante sistemas que garanticen el acceso a los servicios de salud desde cualquier lugar[2]. Para la OMS, la telemedicina podría ser especialmente beneficiosa para los pacientes más vulnerables: tanto aquellos que viven lejos de hospitales y centros de salud como los pacientes de edades avanzadas y enfermos vulnerables.

En primer lugar, la telemedicina otorga a los pacientes un ecosistema seguro para comunicarse con los profesionales sanitarios. Como otras herramientas de comunicación digital, permite adaptar la atención sanitaria a las diferentes disponibilidades horarias de médicos y pacientes, facilitando las interacciones entre ambos. Además de ahorrar tiempo y reducir el número de visitas a los centros médicos, la telemedicina permite acelerar trámites sencillos como solicitar recetas, consultar resultados y organizar citas, entre otras cosas[3].Durante la pandemia de COVID-19, esta tecnología ha experimentado un crecimiento sin precedentes. Y es que gracias a las interacciones médico-paciente a distancia, la telemedicina reduce el riesgo de transmisión de enfermedades y permite que otros servicios clínicos clave (cirugías, tratamientos de enfermedades crónicas, urgencias) continúen funcionando sin interrupciones[4].

Fuente: Startup Health Insights.

FIGURA 1.

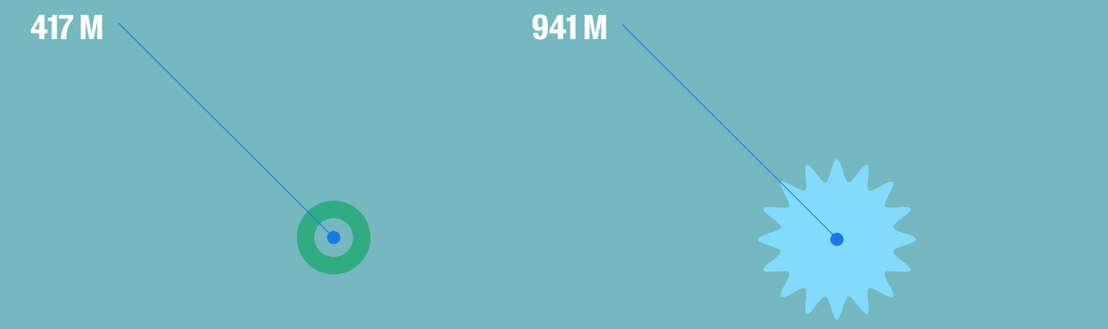
INVERSIÓN EN INNOVACIÓN SALUD (2010-2020). EN LOS ÚLTIMOS DIEZ AÑOS, SE HAN MULTIPLICADO POR 20 LAS INVERSIONES EN INNOVACIONES Y TECNOLOGÍAS RELACIONADAS CON EL MUNDO DE LA SALUD Y LA SANIDAD. EN CONCRETO, LAS INVERSIONES EN TELEMEDICINA SE HAN TRIPLICADO ENTRE 2019 Y 2020 DEBIDO A LOS EFECTOS DE LA PANDEMIA DE COVID-19 Y EL CRECIENTE INTERÉS POR PODER LLEVAR A CABO CONSULTAS TELEMÁTICAS RÁPIDAS, SEGURAS Y EFICACES.



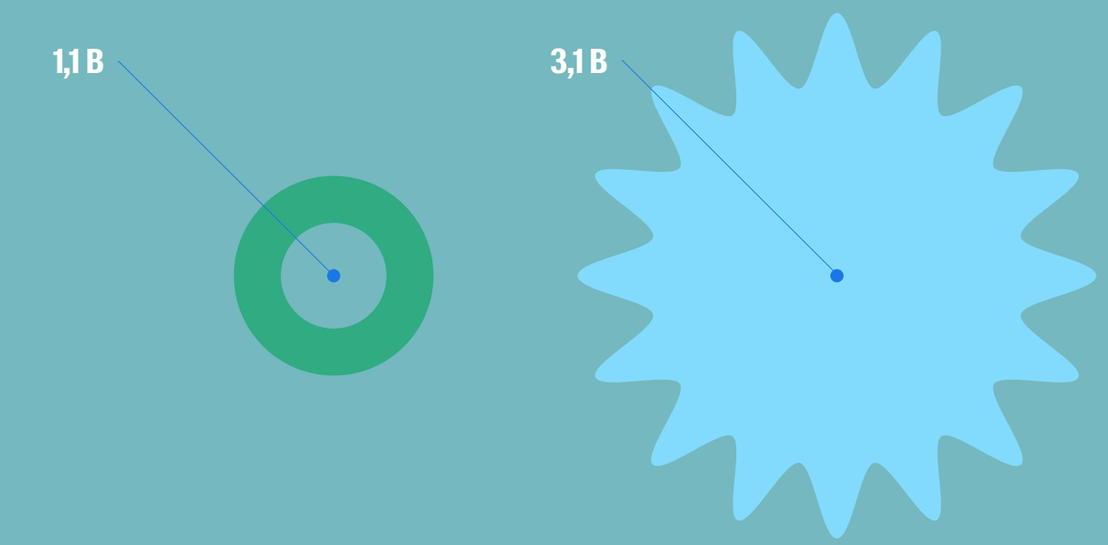
2019
2020

**FINANCIACIÓN DE LA INNOVACIÓN EN SALUD.
SECTORES DE ALTO CRECIMIENTO.**

**MONITORIZACIÓN
REMOTA DEL PACIENTE**



TELEMEDICINA



Gracias a los avances de las tecnologías de la información, la telemedicina también permite llevar a cabo consultas con profesionales sanitarios a través de sistemas como la videoconferencia. Para muchos médicos, estas herramientas son un gran avance, ya que permiten ver el aspecto del paciente a distancia. En este sentido, las grandes empresas están avanzando rápido. A finales de 2020, Movistar presentó sus servicios de teleasistencia, que permiten realizar videoconsultas, solicitar recetas y obtener atención médica inmediata[5]. La teleasistencia también se ha disparado en la sanidad pública durante la pandemia. Los médicos de familia se han visto desbordados con una media de 42 pacientes al día, un 32% más que en años anteriores, de los cuales casi tres cuartas partes optaban por consultas telemáticas[6]. Los profesionales sanitarios del sector público reclaman una mayor inversión en herramientas de telemedicina y teleasistencia, así como el diseño de un plan de desarrollo a nivel nacional. En declaraciones a El País, Amparo Naranjo, médico de familia, subraya la necesidad de sistemas que permitan la comunicación por videollamada y la implantación de canales de comunicación seguros que permitan, entre otras cosas, el envío de fotografías y documentos médicos[7].

La telemedicina no sólo ofrece ventajas a los pacientes. También los profesionales sanitarios pueden aprovechar las nuevas tecnologías para acelerar los diagnósticos, evitar pruebas innecesarias y mejorar la atención primaria. En algunos países se han creado programas de telemedicina para poner en contacto a los médicos de familia con otros especialistas. A través de estas plataformas pueden compartirse notas de las consultas, historias clínicas, resultados de análisis, imágenes y otros datos relevantes. Algunos estudios sugieren que estas nuevas vías de comunicación pueden reducir el número de pacientes que se derivan a centros de especialidades y hospitales, al mismo tiempo que proporcionan una nueva solución de formación continuada para los médicos de cabecera[8]. Por ejemplo, en Reino Unido, la federación de médicos de familia GPCare creó un sistema de este tipo y, desde 2012, ha registrado un descenso en las derivaciones a especialistas del 63%.

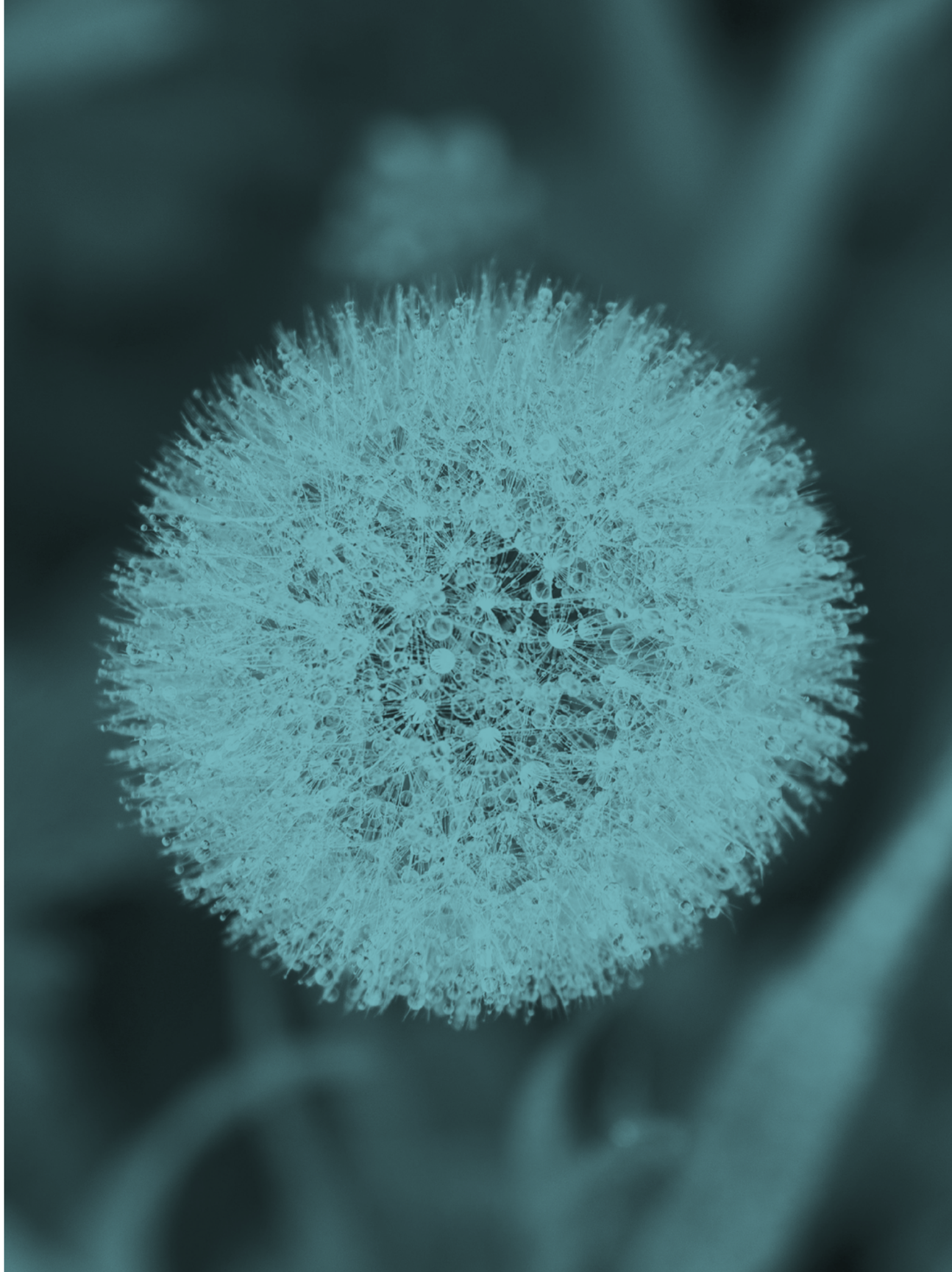
En este sentido, las herramientas digitales también pueden mejorar las estancias de los pacientes en el hospital. La telemedicina facilita la monitorización a distancia, algo que podría acelerar la toma de decisiones. Este modelo alternativo permitiría a los profesionales sanitarios revisar los casos y seleccionar aquellos que requieren la atención en persona para liberar recursos y reducir la carga de trabajo[9]. Varios estudios sugieren que, además de reducir la saturación de los centros médicos, la telemedicina permite disminuir la mortalidad en las unidades de cuidados intensivos (del 13.6 al 11.8%) y la media de estancia hospitalaria (de 6.4 a 4.5 días)[10].

La telemedicina permite reducir la mortalidad en las unidades de cuidados intensivos y la media de estancia hospitalaria.

Los avances en aprendizaje automático e inteligencia artificial también suponen grandes ventajas para la telemedicina. En primer lugar, porque estas herramientas pueden aprender a diagnosticar enfermedades a partir de bases de datos y artículos publicados en revistas científicas. Los estudios que han analizado el potencial de estas tecnologías ofrecen resultados muy esperanzadores. En algunos casos, la inteligencia artificial detecta enfermedades a partir de imágenes mejor que los profesionales sanitarios y, de manera similar, los algoritmos también superan a las personas a la hora de descartar dolencias y seleccionar pacientes sanos[11].

A finales de 2020, la Administración de Alimentos y Medicamentos de EE. UU. (FDA, por sus siglas en inglés) contaba con 64 tecnologías aprobadas para uso en medicina y dispositivos médicos basadas en algoritmos de aprendizaje automático e inteligencia artificial. La gran mayoría (47%) están diseñados para mejorar el diagnóstico en radiología y otras técnicas de imagen, pero cada vez son más los programas informáticos creados para acelerar las consultas y la monitorización rutinarias[12].

El crecimiento vertiginoso de estas tecnologías ha llevado a la FDA a anunciar un plan de acción al respecto, publicado en enero de 2021. Este documento incluye la creación de un marco regularizador a medida, el desarrollo de un decálogo de buenas prácticas y un plan de trasparencia que garantice que la información se almacena siempre de forma segura y respetuosa para con los pacientes[13]. La inteligencia artificial también forma parte de muchos servicios de telemedicina, sobre todo en los procesos de preevaluación de síntomas y diagnóstico. Así, los usuarios pueden responder a diferentes preguntas desde una página web o aplicación móvil y, después, el algoritmo proporciona información relevante sobre los posibles diagnósticos e informa sobre los siguientes pasos, como un tratamiento o una visita médica[14].





Oportunidades

La telemedicina como alternativa a la saturación sanitaria.

Una de las razones que acreditan la exigencia de escalar las soluciones de telemedicina son los desequilibrios en términos sanitarios y de disponibilidad de profesionales que sufre el espacio europeo. Un informe de la OMS revela que, si bien el número de médicos y enfermeras ha aumentado a un ritmo de aproximadamente el 10% durante los últimos 10 años, es poco probable que este crecimiento continúe en el futuro y sea suficiente para cubrir las necesidades de una población que envejece aceleradamente[15]. A este fenómeno se le conoce popularmente como el 'tsunami plateado'. Además, la disponibilidad de profesionales es muy desigual: entre diferentes países se registran oscilaciones de hasta cinco veces más médicos y nueve veces más profesionales de la enfermería.

A nivel mundial, la situación es aún más grave. La OMS estima que se crearán alrededor de 40 millones de nuevos puestos de trabajo en el sector de la salud para 2030, principalmente en países de ingresos medios y altos. Pero tampoco será suficiente. A pesar del crecimiento previsto, se calcula que se necesitan unos 18 millones de trabajadores de la salud adicionales para alcanzar los Objetivos de Desarrollo Sostenible de la ONU en los países de ingresos bajos y medianos. Las soluciones de telemedicina se presentan como una alternativa interesante de base tecnológica para extender los servicios de salud con menos personal.

La buena noticia es que la actitud de los profesionales sanitarios es muy proclive a la telemedicina. Entre 2016 y 2019, el uso de las herramientas de telemedicina se incrementó significativamente entre el colectivo sanitario en EE. UU., especialmente las visitas virtuales, que pasaron del 14% al 28%. Y es que la posibilidad de brindar atención remota favorece el uso de soluciones de telemedicina, que ha experimentado un movimiento ascendente en los últimos tres años, hasta el 68% de profesionales la consideran importante o muy importante.

A favor de la expansión de la telemedicina en Europa juegan también otros factores, como la creciente conectividad y digitalización de nuestras sociedades. La Comisión

Fuente: Comisión Europea.

FIGURA 2.

TRANSFORMACIÓN DE LA SALUD Y LA ATENCIÓN SANITARIA EN EL MERCADO ÚNICO DIGITAL. ESTA INFOGRAFÍA OFRECE UNA DESCRIPCIÓN GENERAL DE LA POLÍTICA DE LA COMISIÓN EUROPEA SOBRE LA TRANSFORMACIÓN DE LA ATENCIÓN MÉDICA EN EL MERCADO ÚNICO DIGITAL. LAS ACCIONES PROMOVIDAS INCLUYEN EL ACCESO SEGURO AL INTERCAMBIO DE DATOS DE SALUD, EL AGRUPAMIENTO DE ESTOS PARA PROMOVER LA INNOVACIÓN, EL EMPODERAMIENTO DE LA CIUDADANÍA Y UN ENFOQUE CENTRADO EN LA PERSONA.

DESAFÍOS SANITARIOS EUROPEOS

/ El envejecimiento de la población y las enfermedades crónicas ejercen presión sobre los presupuestos sanitarios.

/ Calidad desigual y acceso a los servicios de salud.

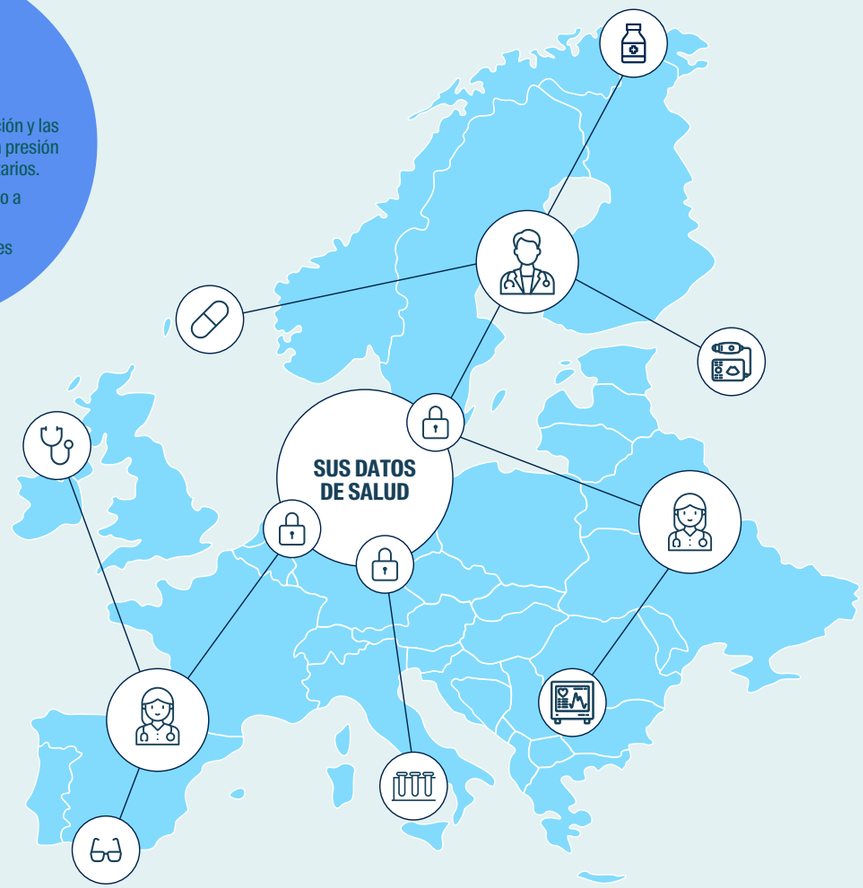
/ Escasez de profesionales de la salud.

LO QUE ESPERAN LOS CIUDADANOS DE LA UE

90%
(DE ACUERDO)
Acceso a sus propios datos de salud (requiriendo datos sanitarios accesibles y de calidad).

80%
(DE ACUERDO)
En compartir sus datos sanitarios (si la privacidad y la seguridad están aseguradas).

90%
(DE ACUERDO)
En facilitar retorno sobre tratamientos de calidad.



DATOS DE SALUD AGRUPADOS PARA INVESTIGACIÓN

AMBICIÓN:
Recursos de salud compartidos (datos, infraestructura, experiencia ...) que permiten una investigación, un diagnóstico y un tratamiento específicos y más rápidos.

ACCIONES:
/ Mecanismos de colaboración voluntaria para la investigación en salud y la práctica clínica (comenzando con el objetivo de "un millón de genomas para 2022").
/ Especificaciones para el acceso seguro y el intercambio de datos sanitarios.
/ Acciones piloto sobre enfermedades raras, enfermedades infecciosas y datos de impacto.

POTENCIAL DE LAS APLICACIONES Y LOS DATOS DIGITALES PARA MEJORAR LA SALUD

/ Sistemas sanitarios eficientes e integrados.

/ Investigación, diagnóstico y tratamiento sanitario personalizado.

/ Prevención y servicios de salud centrados en el ciudadano.

ACCESO SEGURO AL INTERCAMBIO DE DATOS DE SALUD

AMBICIÓN:
Los ciudadanos acceden de forma segura a sus datos sanitarios y los proveedores sanitarios (médicos, farmacias ...) pueden intercambiarlos en toda la UE.

ACCIONES:
/ La infraestructura de servicios digitales de eHealth brindará servicios transfronterizos iniciales (resúmenes de pacientes y recetas electrónicas) y se fortalecerá la cooperación entre los países participantes.
/ Propuestas para ampliar el alcance de los servicios transfronterizos de eSalud a casos adicionales, p. Ej. historiales médicos electrónicos completos.
/ Formato de intercambio recomendado para la interoperabilidad de los registros sanitarios electrónicos existentes en Europa.

EMPODERAMIENTO DE LOS CIUDADANOS Y UNA ATENCIÓN SANITARIA CENTRADA EN LA PERSONA.

AMBICIÓN:
Los ciudadanos pueden controlar su salud, adaptar su estilo de vida e interactuar con sus médicos y cuidadores.

ACCIONES:
/ Facilitar suministro de soluciones innovadoras de base digital para la salud, también por parte de las PYME, con principios y certificaciones comunes.
/ Apoyar la aceptación de la demanda de soluciones innovadoras para la salud basadas en tecnología digital, en particular por parte de las autoridades y proveedores de atención médica, con intercambio de prácticas y asistencia técnica.
/ Movilizar más eficientemente la financiación pública para soluciones innovadoras de base digital para la salud.

Europea la sitúa, de hecho, como una de sus grandes prioridades en materia de transformación digital y el sector, tanto profesionales sanitarios como proveedores, la coloca en segundo lugar entre las tendencias tecnológicas más relevantes en materia de medicina digital de los próximos años[16]. Además, hay una notable coincidencia entre los ciudadanos de la UE acerca de su predisposición a compartir los datos de salud personales: el 90% de ellos esperan tener acceso a sus propios datos de salud y el 80% están listos para compartir datos y proporcionar comentarios sobre la calidad de los tratamientos[17].

Tanto los profesionales sanitarios como los ciudadanos europeos son conscientes del potencial de la telemedicina y creen que podrían beneficiarse de sistemas digitales que garanticen un mejor acceso a los datos e historiales médicos, permitan un intercambio de información entre diferentes partes interesadas (hospitales, farmacias, centros de salud) y faciliten las interacciones médico-paciente. La telemedicina del futuro también se aprovecha de algo tan aparentemente circunstancial como el creciente nivel de conocimiento de idiomas de la población: aproximadamente el 73% de los ciudadanos de la UE de entre 25 y 34 años dice conocer una lengua extranjera (los niveles más altos, con más del 90%, se encuentran en Suecia, Letonia, Dinamarca, Lituania, Luxemburgo, Finlandia, Malta y Estonia), lo cual siempre es importante a la hora de escalar servicios[18]. Y la tasa de movilidad de la población sigue creciendo, especialmente entre los graduados de educación superior.

Antes de la crisis de la COVID-19, la gestión de enfermedades crónicas era el servicio de telemedicina más utilizado. Lo implementaban el 74% de los países europeos, particularmente en España (97%) e Italia (86%). En Alemania y Suiza, la atención se centraba en la teleasistencia aguda, mientras que los países nórdicos eran líderes en el uso de herramientas de salud digital con fines de prevención, salud mental y del comportamiento. En cuanto a los grupos de pacientes objetivo, la industria reconocía una gran oportunidad en la economía plateada: el 77% de los proveedores de tecnología se dirigen a las personas mayores, con el objetivo de ayudarlas a mantener la

independencia y mejorar la calidad de vida. Por último, la gestión de la terapia con medicamentos es la aplicación esencial de los servicios y soluciones de telemedicina para el 71% de los italianos y solo el 32% de los de Suiza, el Reino Unido e Irlanda[19].

Con la pandemia, toda esa energía larvada estalló. Un médico inglés resumió, en una entrevista al New York Times, el vértigo vivido durante las primeras fases de la crisis: "Estamos presenciando diez años de cambios en una semana"[20]. Antes del virus, las citas por vídeo representaban solo el 1% de las citas anuales con los médicos de cabecera británicos, pero el Servicio Nacional de Salud tuvo que instar a miles de clínicas en todo el país a ofrecer consultas remotas y aceleró la aprobación de proveedores digitales para aumentar sus servicios. En Francia, donde existe regulación sobre la telemedicina desde 2009, el porcentaje de todas las consultas médicas realizadas a distancia aumentó del 0,1% en la primera semana de marzo a más del 28% en la primera semana de abril de 2020[21]. Y en EE. UU., el servicio de telemedicina independiente más grande del país, Teladoc, que cotiza en bolsa, disparó las llamadas y la empresa Purchase de Nueva York informó de un aumento del 50% en el servicio en apenas una semana. En España, la plataforma privada Doctoralia organizó en 2020 un 75% más de consultas virtuales que el año anterior[22].

En España, la plataforma privada Doctoralia organizó en 2020 un 75% más de consultas virtuales que el año anterior.

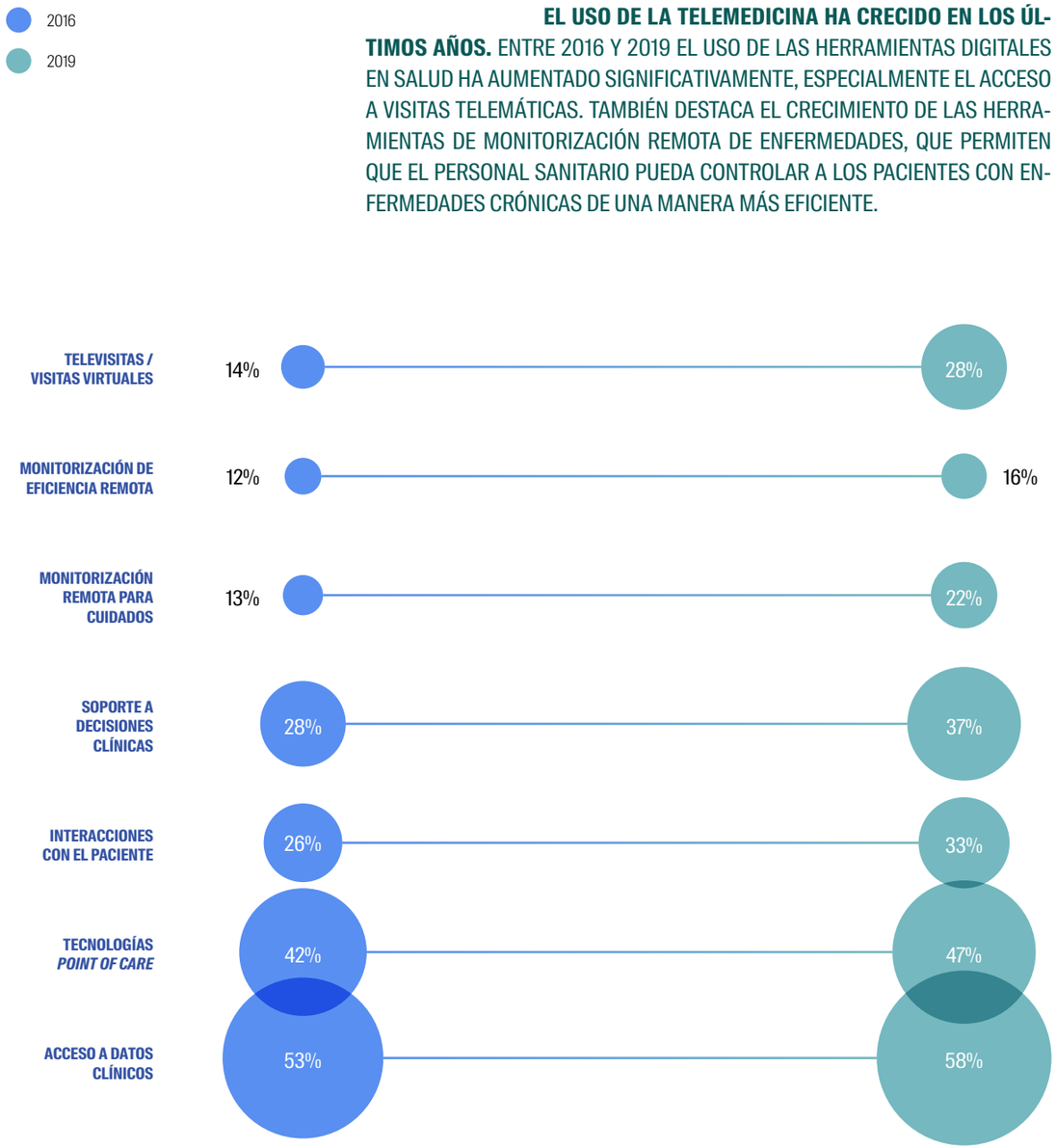
Además, gracias al avance de tecnologías como el internet de las cosas o la inteligencia artificial, estamos a las puertas de una nueva telemedicina. Más allá de las consultas telemáticas, los dispositivos conectados a la red permitirán que se compartan datos entre pacientes y profesionales sanitarios en la nube. Acelerarán la toma de decisiones y facilitando la monitorización de enfermedades crónicas reduciendo el número de visitas a los centros de salud y hospitales. La telemedicina que conocemos actualmente permite la comunicación médi-

co-paciente, pero limita mucho los procesos de diagnóstico debido al acceso limitado a datos fundamentales como la presión sanguínea, el ritmo cardiaco o la saturación de oxígeno[23]. Algunos dispositivos, como el reloj digital de Apple, ya permiten medir todas estas constantes, así como llevar a cabo pruebas médicas más complejas como un electrocardiograma básico[24]. Si los usuarios pudieran compartir estos datos en tiempo real con los profesionales sanitarios, podríamos recibir respuestas y tratamientos basados en evidencias mucho más detalladas y avanzadas. Asimismo, muchos de estos nuevos dispositivos electrónicos y wearables almacenan datos relacionados con la salud durante largos periodos de tiempo, a menudo aprovechando las ventajas de servidores encriptados en internet. Esto proporciona varias ventajas tanto a los profesionales sanitarios como a los pacientes[25]. Por un lado, porque se descentraliza el acceso a los historiales clínicos, lo que facilita tanto el diagnóstico como el tratamiento en situaciones donde es complicado el acceso a estos datos (por ejemplo, si un paciente ha cambiado de domicilio o sufre un accidente de viaje). También es importante disponer de estos datos para detectar anomalías de forma anticipada, en ocasiones antes de que aparezcan los primeros síntomas de una enfermedad. Gracias al big data y a los algoritmos de inteligencia artificial, los ordenadores de los hospitales (o, incluso, los propios dispositivos inteligentes de los pacientes) podrán llevar a cabo análisis exhaustivos de las constantes vitales en tiempo real[26]. Más allá de acelerar el diagnóstico, estas tecnologías son útiles para monitorizar el seguimiento de tratamientos por parte de los pacientes, así como su respuesta a los medicamentos. Si surgen problemas, los profesionales sanitarios pueden detectarlos remotamente y modificar las dosis o renovar la receta electrónica sin necesidad de una consulta presencial. La inteligencia artificial también ofrece grandes ventajas en el cuidado de personas mayores, desde la creación de robots de asistencia a la monitorización inteligente de constantes vitales, pasando por nuevas tecnologías de reconocimiento de voz que permiten detectar problemas o situaciones de estrés. Ya existen dispositivos capaces de reconocer llamadas de auxilio y alertar al personal sanitario, tecnologías que podrían mejorar la asistencia de ancianos y dependientes[27].

Fuente: American Medical Association.

FIGURA 3.

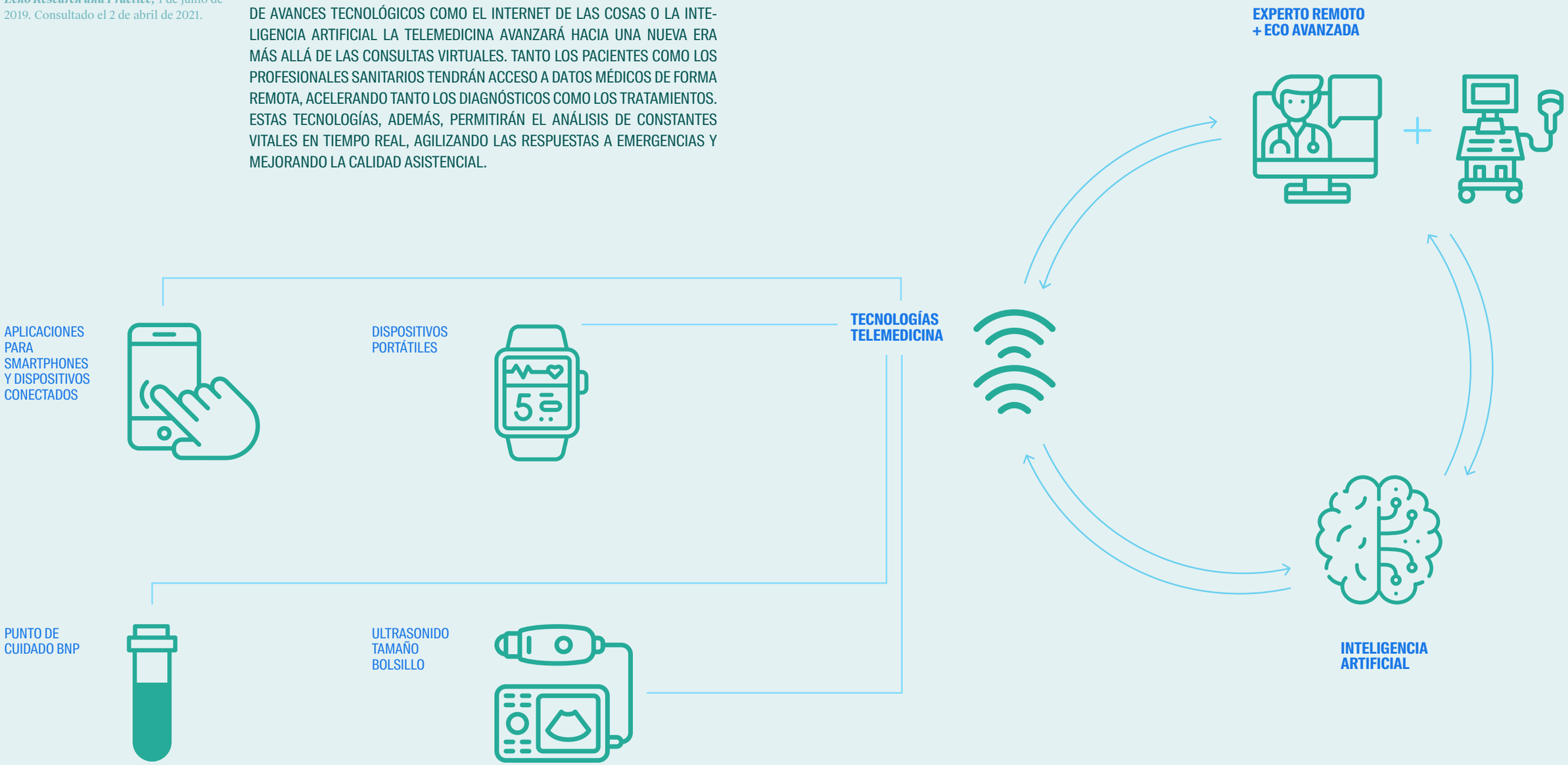
EL USO DE LA TELEMEDICINA HA CRECIDO EN LOS ÚLTIMOS AÑOS. ENTRE 2016 Y 2019 EL USO DE LAS HERRAMIENTAS DIGITALES EN SALUD HA AUMENTADO SIGNIFICATIVAMENTE, ESPECIALMENTE EL ACCESO A VISITAS TELEMÁTICAS. TAMBIÉN DESTACA EL CRECIMIENTO DE LAS HERRAMIENTAS DE MONITORIZACIÓN REMOTA DE ENFERMEDADES, QUE PERMITEN QUE EL PERSONAL SANITARIO PUEDA CONTROLAR A LOS PACIENTES CON ENFERMEDADES CRÓNICAS DE UNA MANERA MÁS EFICIENTE.



Fuente: Seetharam, K. et al. "Application of mobile health, telemedicine and artificial intelligence to echocardiography." ***Echo Research and Practice,*** 1 de junio de 2019. Consultado el 2 de abril de 2021.

FIGURA 4.

LA SEGUNDA GENERACIÓN DE TELEMEDICINA. A TRAVÉS DE AVANCES TECNOLÓGICOS COMO EL INTERNET DE LAS COSAS O LA INTELIGENCIA ARTIFICIAL LA TELEMEDICINA AVANZARÁ HACIA UNA NUEVA ERA MÁS ALLÁ DE LAS CONSULTAS VIRTUALES. TANTO LOS PACIENTES COMO LOS PROFESIONALES SANITARIOS TENDRÁN ACCESO A DATOS MÉDICOS DE FORMA REMOTA, ACELERANDO TANTO LOS DIAGNÓSTICOS COMO LOS TRATAMIENTOS. ESTAS TECNOLOGÍAS, ADEMÁS, PERMITIRÁN EL ANÁLISIS DE CONSTANTES VITALES EN TIEMPO REAL, AGILIZANDO LAS RESPUESTAS A EMERGENCIAS Y MEJORANDO LA CALIDAD ASISTENCIAL.



El potencial de España

Una apuesta por la inteligencia artificial y la información compartida.

En el caso de España, la salud virtual es actualmente una realidad, con experiencias identificadas en todas las etapas del itinerario del paciente, de modo más significativo en el ámbito privado. Pero la pandemia de la COVID-19 ha impulsado su aplicación en la sanidad pública[28]. Desde que se decretó el estado de alarma el número de consultas de salud virtuales aumentó y más del 85% de las consultas externas se pasaron a realizar de manera remota en muchos hospitales. Asimismo, todas las grandes aseguradoras incrementaron sus servicios de consulta de salud virtual.

El potencial del mercado de la telemedicina presenta una tasa de crecimiento del 14%. Se espera una revisión al alza tras la crisis.

De modo que, si el potencial de mercado de la telemedicina ya era fuerte antes de la crisis, con una tasa de crecimiento anual compuesta esperada del 14% durante los próximos años, las previsiones tendrán que revisarse todavía más al alza. Todo depende de la capacidad de los países para eliminar los obstáculos que aún persisten en el camino. Los más preocupantes tienen que ver con los aspectos regulatorios y de disponibilidad de datos[29]. Aunque la mayoría de los países europeos ya han introducido marcos normativos para apoyar la adopción de la salud digital, existen todavía muchos obstáculos. Por ejemplo, con respecto a las políticas de reembolso, porque las consultas de telemedicina suelen tener un precio más bajo en comparación con las presenciales. Otros problemas que limitan el desarrollo de soluciones y servicios están relacionados con la seguridad de las TIC y la privacidad de los datos. La crisis de COVID-19 podría catalizar el cambio de mentalidad y reducir esas preocupaciones[30]. Son interesantes en ese sentido iniciativas como el proyecto epSOS, un sistema transfronterizo para compartir información sanitaria. Los valencianos serán los primeros de España cuya historia clínica podrá consultarse en centros sanitarios europeos cuando reciban asistencia. Del mismo modo, cuando un ciudadano europeo requiera asistencia en la Comunidad Valenciana, el profesional que le atienda podrá acceder a su historial. De momento, los países que participan en el piloto del proyecto son Francia, Alemania, Italia, Grecia, Dinamarca, Suecia, Austria, República Checa y Eslovaquia[31]. También destaca la iniciativa de la emprendedora Núria Pastor, desarrolladora de HumanITcare. Esta plataforma utiliza inteligencia artificial para vigilar la salud de los pacientes de forma remota. Gracias a la inversión del Centro para el Desarrollo Tecnológico e Industrial (CDTI) del Ministerio de Ciencia e Innovación y a proyectos competitivos de la Unión Europea, HumanITCare ha desarrollado un software que detecta anomalías tras analizar diferentes constantes vitales de los pacientes, como el ritmo cardíaco, la presión sanguínea o la saturación de oxígeno. La decisión final siempre la toma un médico, pero gracias a todo el trabajo previo de los algoritmos, los profesionales sanitarios pueden priorizar los casos más urgentes. La empresa española ha atraído a varios inversores privados y ya se utiliza en hospitales europeos como el Vall d'Hebron y el Clínic de Barcelona y los hospitales universitarios de Maastrich (Países Bajos) Heidelberg (Alemania). Las autoridades alemanas, como la FDA, también regulan estas tecnologías y soluciones digitales. Por eso, HumanITCare quiere obtener esta certificación para seguir demostrando el potencial de sus soluciones y asegurar un crecimiento sostenible[32].

Retos

Desarrollar un marco legislativo innovador e inclusivo.

La situación de España es claramente mejorable. Su posición en Europa en el ámbito de la telemedicina es buena, pero el nivel de intercambio de información de salud es relativamente bajo: menos del 25% de los médicos generales comparten datos de pacientes entre sí, y entre el 25% y el 50% intercambian información con hospitales y otros especialistas, principalmente para acceder a informes de laboratorio y hospitalarios.

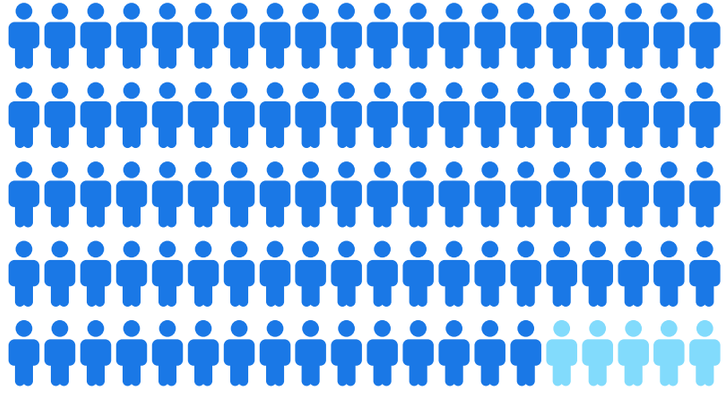
España debe renovar sus planes de desarrollo de la telemedicina, dado que los documentos diseñados por el Gobierno están, en su mayor parte, obsoletos. En 2000 el antiguo INSALUD publicó su 'Plan de Telemedicina'[33], que proponía una serie de acciones para mejorar los procesos asistenciales que nunca llegó a llevarse a cabo (entre otras cosas porque el INSALUD se disolvió en 2002 para crear las consejerías de salud autonómicas). Más adelante, gracias al Plan Avanza, aprobado en 2005 por el Consejo de Ministros, se potenciaron las líneas de comunicación entre hospitales y centros de salud de todo el país para intercambiar información administrativa y clínica[34]. Tras casi dos décadas de desarrollo, se estima que alrededor de un 93% de los pacientes tienen acceso a la receta electrónica interoperable entre comunidades y más de un 95% de la población puede tener una historia clínica digital, accesible desde cualquier comunidad autónoma[35]. En general, los estudios sugieren que la descentralización potenció el uso de la sanidad pública[36]. Sin embargo, a pesar de todas estas cifras, algunos expertos consideran que los recursos se han desaprovechado durante años y critican la falta de liderazgo del Gobierno. De haber implantado la telemedicina con una estrategia nacional

coordinada, dicen, los servicios de salud habrían podido afrontar mejor la pandemia[37].

Además, es fundamental que el desarrollo de la telemedicina cuente con el apoyo de los organismos públicos y el respaldo de los profesionales sanitarios. Algunos expertos destacan que, a pesar de haberse presentado como una solución a la congestión de los centros de salud y hospitales, la telemedicina no ha aliviado el colapso sanitario provocado por la pandemia. Y, aunque en teoría las soluciones digitales deberían acelerar las visitas virtuales, muchos médicos creen que las consultas telemáticas requieren una inversión de tiempo extraordinaria para explicar detalles médicos, procedimientos administrativos y proporcionar soporte técnico a los pacientes. Existe una brecha digital entre personas mayores y jóvenes, pero sobre todo entre las de mayor nivel socioeconómico y las más desfavorecidas[38]. Para que la telemedicina funcione de verdad, es importante que todo el mundo tenga un acceso igualitario, y evitar que las aseguradoras y hospitales privados concentren toda la innovación[39].

95%

DE LA POBLACIÓN ESPAÑOLA TIENE UNA HISTORIA CLÍNICA DIGITAL, ACCESIBLE DESDE CUALQUIER COMUNIDAD AUTÓNOMA.



Fuente: HIMMS.

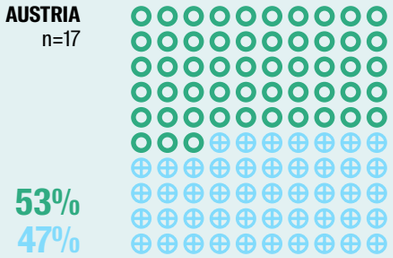
SÍ

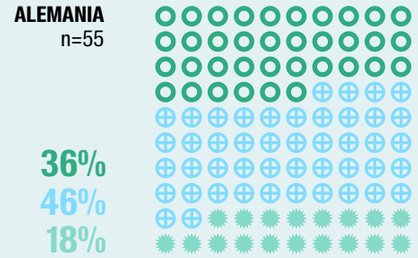
NO

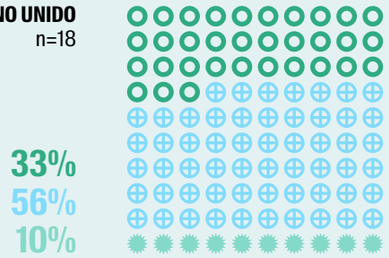
NO, PERO PLANES

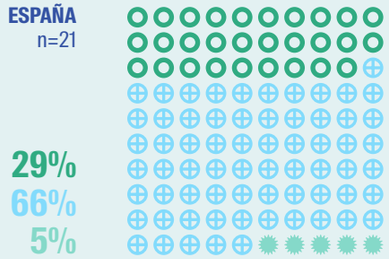
FIGURA 5.

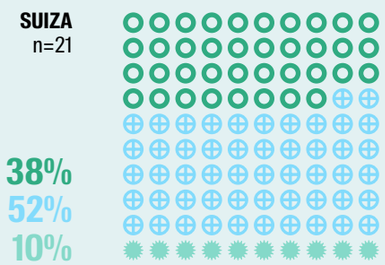
HOSPITALES CON UNA UNIDAD COORDINADA DE TELEMEDICINA. EN ESPAÑA, EL NÚMERO DE HOSPITALES QUE CUENTAN CON UN DEPARTAMENTO INTEGRADO DE MÉDICOS Y PROFESIONALES DE LAS TIC ES MÁS BAJO (29%) QUE OTROS PAÍSES EUROPEOS, COMO ITALIA (36%), ALEMANIA (45%) O AUSTRIA (47%). TAMBIÉN ES PREOCUPANTE LA CANTIDAD DE CENTROS QUE ASEGURAN NO TENER PLANES PARA REVERTIR ESTA SITUACIÓN EN EL FUTURO Y DESARROLLAR UNA ESTRATEGIA DE TELEMEDICINA (67%).

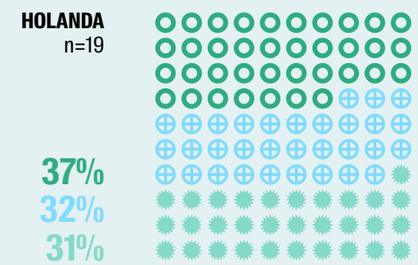


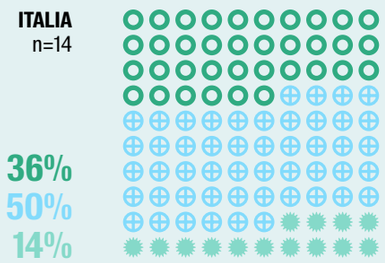


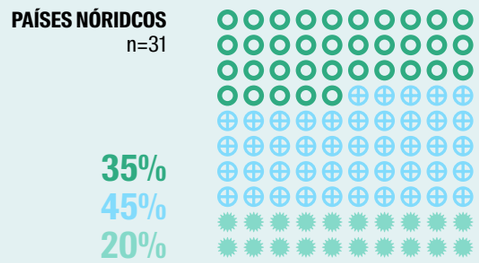


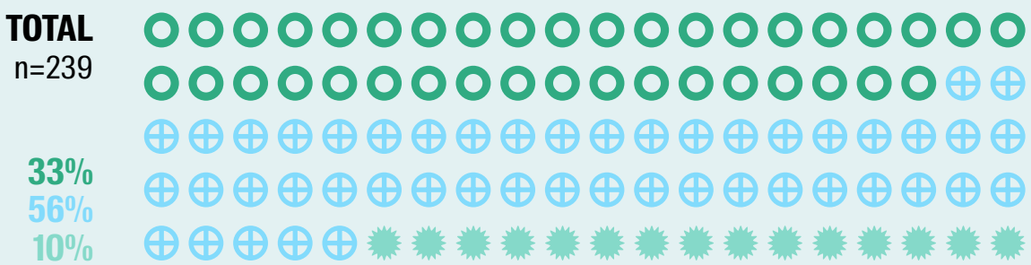












Fuente: Deloitte.

FIGURA 6.

INVERTIR AHORA EN LA TELEMEDICINA DEL FUTURO. IMPLANTAR TODAS ESTAS TECNOLOGÍAS LLEVA TIEMPO Y, ADEMÁS, REQUIERE GRANDES INVERSIONES EN EDUCACIÓN, TANTO DE PACIENTES COMO DE PROFESIONALES SANITARIOS. CONFORME SE AVANCE EN LA ELIMINACIÓN DE LA BRECHA DIGITAL, LA TELEMEDICINA PODRÁ SEGUIR PROLIFERANDO, HASTA ALCANZAR UN GRADO DE MADUREZ QUE PERMITA UNA INTEGRACIÓN TOTAL EN NUESTRAS VIDAS, EN LAS QUE LAS CONSULTAS MÉDICAS EN CENTROS DE SALUD Y HOSPITALES QUEDEN TOTALMENTE OBSOLETAS.

PROGRESIÓN HACIA 2040

	INICIACIÓN (1-7 AÑOS)	PROLIFERACIÓN (7-14 AÑOS)	TRANSFORMACIÓN (14-21 AÑOS)
ACCESO	EL CRECIMIENTO DEL ACCESO DEPENDERÁ EN LOS CAMBIOS DE LOS PROTOCOLOS DE INTERCAMBIO DE DATOS QUE SE IMPLEMENTEN EN LOS PRÓXIMOS 5-7 AÑOS. LA TELEMEDICINA Y LOS DISPOSITIVOS SEGUIRÁN UNA TENDENCIA POSITIVA.	EL ACCESO A LOS DATOS Y LAS HERRAMIENTAS QUE INFORMEN A LOS PACIENTES DE SU SALUD DESPEGARÁN. LOS SERVICIOS SERÁN MUCHO MÁS ÚTILES AL MISMO TIEMPO QUE EL USO DISMINUYE GRACIAS A QUE LA POBLACIÓN ESTÁ MÁS INFORMADA Y MÁS SANA.	LA NUEVA TELEMEDICINA Y LA “SALUD INTELIGENTE” HABRÁN INVADIDO NUESTRAS VIDAS, PERMITIENDO UNA SALUD PREVENTIVA MÁS PERSONALIZADA. EL ACCESO A PROFESIONALES SANITARIOS EN CLÍNICAS Y HOSPITALES SERÁ COSA DEL PASADO.
MEDIDAS	35% DE LOS CONSUMIDORES ESTÁN INTERESADOS EN HABLAR CON UN ASISTENTE VIRTUAL QUE LES AYUDE A IDENTIFICAR SÍNTOMAS ANTES DE HABLAR CON UN MÉDICO. EL 41% DE LOS PACIENTES TENDRÁN UN MEJOR ACCESO A TRATAMIENTOS Y SANIDAD.	60-65% DE LOS CONSUMIDORES HARÁN CONSULTAS VIRTUALES RELACIONADAS CON SALUD Y BIENESTAR. LOS GOBIERNOS UTILIZARÁN PROGRAMAS DE EDUCACIÓN PARA GARANTIZAR EL BUEN USO DE LAS TECNOLOGÍAS Y EL ACCESO DE LAS PERSONAS MÁS DESFAVORECIDAS.	CASI EL 100% DE LOS CONSUMIDORES SERÁN PARTE DE COMUNIDADES DE SALUD INTELIGENTE (EN PERSONA O VIRTUALES). LOS PROGRAMAS EDUCATIVOS DEL GOBIERNO CUBREN LAS NECESIDADES DE TODA LA POBLACIÓN, CON CASI CERO PACIENTES SIN ACCESO AL SISTEMA DE SALUD.

Conclusiones

La pandemia de COVID-19 ha puesto de manifiesto la importancia de la telemedicina para desarrollar un sistema de salud descentralizado, más justo, eficiente y seguro. Dentro de unos años, tan sólo algunos procedimientos médicos (como las cirugías y las urgencias) dependerán de las visitas al hospital, mientras que la gran mayoría de consultas se realizarán de forma telemática. No obstante, para alcanzar esos objetivos es necesario que los gobiernos desarrollen nuevos marcos legislativos innovadores, que faciliten el acceso a la información digital por parte de profesionales sanitarios y pacientes y que fomenten el intercambio de datos entre especialistas para garantizar tratamientos actualizados y de calidad. Aunque las consultas telemáticas todavía suponen un esfuerzo extra por parte del personal sanitario, las nuevas tecnologías facilitarán los procesos de diagnóstico y acelerarán la toma de decisiones. Estos avances, además, irán de la mano de los desarrollos tecnológicos como el internet de las cosas y la inteligencia artificial, que permitirán avanzar más allá de la medicina a distancia. Gracias a estos sistemas, los profesionales sanitarios podrán monitorizar de forma remota a sus pacientes, controlando el avance de los tratamientos y respondiendo más rápido ante imprevistos y emergencias. Estas tecnologías utilizarán algoritmos para analizar y comparar datos de forma inteligente, mejorando el diagnóstico de enfermedades y perfeccionando la asistencia. En conjunto, todos estos cambios permitirán una medicina más eficiente, más segura y, según la OMS, más inclusiva. Con la telemedicina, las áreas más aisladas y los grupos más vulnerables podrán tener acceso a las mismas ventajas que el resto de la población.

1. Mayo Clinic (2020). **“Telehealth: Technology meets health care.”** Consultado el 19 de marzo de 2021.

2. OMS (2016). **“Telehealth.”** Consultado el 19 de marzo de 2021.

3. CDC (2020). **“Telemedicina, ¿qué significa y por qué le debería importar?”** Consultado el 19 de marzo de 2021.

4. OPS/OMS (n.d.). **“COVID-19 y telemedicina.”** Consultado el 19 de marzo de 2021.

5. Movistar (2021). **“Movistar Salud el servicio de telemedicina.”** Consultado el 19 de marzo de 2021.

6. SEMFYC (2020). **“La semFYC junto con las 17 sociedades de Medicina Familiar de cada Comunidad Autónoma reclaman negociación frente al Real Decreto de contratación de profesionales sin especialidad.”** Consultado el 19 de marzo de 2021.

7. Bejerano, P.G. **“Las deficiencias en telemedicina en la sanidad pública que ha destapado la pandemia.”** El País, 9 de marzo de 2021. Consultado el 19 de marzo de 2021.

8. Nuffield Trust (2016). **“Delivering the benefits of digital healthcare.”** Consultado el 19 de marzo de 2021.

9. Murias, G. et al. **Telemedicina: mejora de la calidad en la atención de los pacientes críticos desde la fase prehospitalaria hasta el servicio de medicina intensiva.** ***Medicina Intensiva,*** 2010, 34, 1, pp. 46-55. Consultado el 19 de marzo de 2021.

10. Barclay, L. y Vega, C.P. **“Telemedicine Intervention May Improve ICU Outcomes.”** Medscape, 18 de mayo de 2011. Consultado el 19 de marzo de 2021.

11. El médico interactivo (2019). **“La inteligencia artificial, tan efectiva como los médicos para el diagnóstico de enfermedades.”** Consultado el 19 de marzo de 2021.

12. Benjamens, S. et al. **“The state of artificial intelligence-based FDA-approved medical devices and algorithms: an online database.”** Nature Digital Medicine, 11 de septiembre de 2020. Consultado el 19 de marzo de 2021.

13. FDA (2021). **“Artificial Intelligence/Machine Learning (AI/ML)-Based Software as a Medical Device (SaMD) Action Plan.”** Consultado el 19 de marzo de 2021.

14. Bejerano, P.G. **“Telemedicina: qué es y cómo pedir cita a tu médico online.”** Telefónica – Blog Think Big, 23 de noviembre de 2020. Consultado el 19 de marzo de 2021.

15. OMS (n.d.) **“Health Workforce – Data and Statistics”.** Consultado el 19 de marzo de 2021.

16. HIMMS (2019). **“Annual European eHealth Survey 2019.”** Consultado el 19 de marzo de 2021.

17. Comisión Europea (2018). **“Digital Health and Data”.** Consultado el 19 de marzo de 2021.

18. Eurostat (2019). **“Foreign language skills statistics.”** Consultado el 19 de marzo de 2021.

19. HIMMS (2020) **“Non-clinical Telehealth Services Are Most Prevalent, but COVID-19 Accelerates New Trends.”** Consultado el 19 de marzo de 2021.

20. Mueller, B. **“Telemedicine Arrives in the U.K.: ‘10 Years of Change in One Week’.”** New York Times, 4 de abril de 2020. Consultado el 19 de marzo de 2021.

21. Chermann, E. **“La crise liée au coronavirus consacre la télémédecine.”** Le Monde, 3 de mayo de 2020. Consultado el 19 de marzo de 2021.

22. Del Castillo, C. **“El ‘Booking de los médicos’ explota con la pandemia: “La COVID ha mostrado que la telemedicina es una opción válida.”** El Diario, 17 de marzo de 2021. Consultado el 19 de marzo de 2021.

23. Ahmad, S. **“IoT In Telemedicine: A Feather Of Success In Healthcare Industry.”** Mobisoft, 11 de junio de 2020. Consultado el 2 de abril de 2021.

24. Apple (n.d.). **“Hacer un electrocardiograma con la app ECG del Apple Watch Series 4, Series 5 o Series 6.”** Consultado el 2 de abril de 2021.

25. Padmanabhan, P. **“Beyond telehealth: the virtual care technology trends that will transform healthcare.”** Healthcare IT News, 12 de junio de 2020. Consultado el 2 de abril de 2021.

26. Kuziemsky, C. et al. **“Role of Artificial Intelligence within the Telehealth Domain.”** ***Yearbook of Medical Informatics,*** 25 de abril de 2019. Consultado el 2 de abril de 2021.

27. David, C. **“How AI is Transforming Telehealth.”** Ai4, 3 de diciembre de 2020. Consultado el 2 de abril de 2021.

28. ESADE (2020). **“Estudio sobre la consulta de salud virtual y sus beneficios para el sistema sanitario.”** Consultado el 19 de marzo de 2021.

29. Comisión Europea (2018). **“Market study on telemedicine.”** Consultado el 19 de marzo de 2021.

30. HIMMS (2020). **“Non-clinical Telehealth Services Are Most Prevalent, but COVID-19 Accelerates New Trends.”** Consultado el 19 de marzo de 2021.

31. Comisión Europea (2012). **“Proyecto #epSOS - Proyecto europeo de eSalud.”** Consultado el 19 de marzo de 2021.

32. Coll-Rubio, P. **“Inteligencia artificial para salvar vidas a distancia.”** El País, 3 de marzo de 2021. Consultado el 19 de marzo de 2021.

33. Ministerio de Sanidad y Consumo (2000). **“Plan de telemedicina del INSALUD.”** Consultado el 19 de marzo de 2021.

34. Sanofi (2020). **“La telemedicina en España y Europa.”** Consultado el 19 de marzo de 2021.

35. ASD (2018). **“Informe sobre transformación digital en salud en España.”** Consultado el 19 de marzo de 2021.

36. Redacción Médica (2019). **“Fedea: la descentralización potencia el uso de la sanidad pública.”** Consultado el 19 de marzo de 2021.

37. Punzano, D. **“Telemedicina, la oportunidad perdida para evitar el caos del sistema sanitario.”** Planta Doce, 19 de marzo de 2020. Consultado el 19 de marzo de 2021.

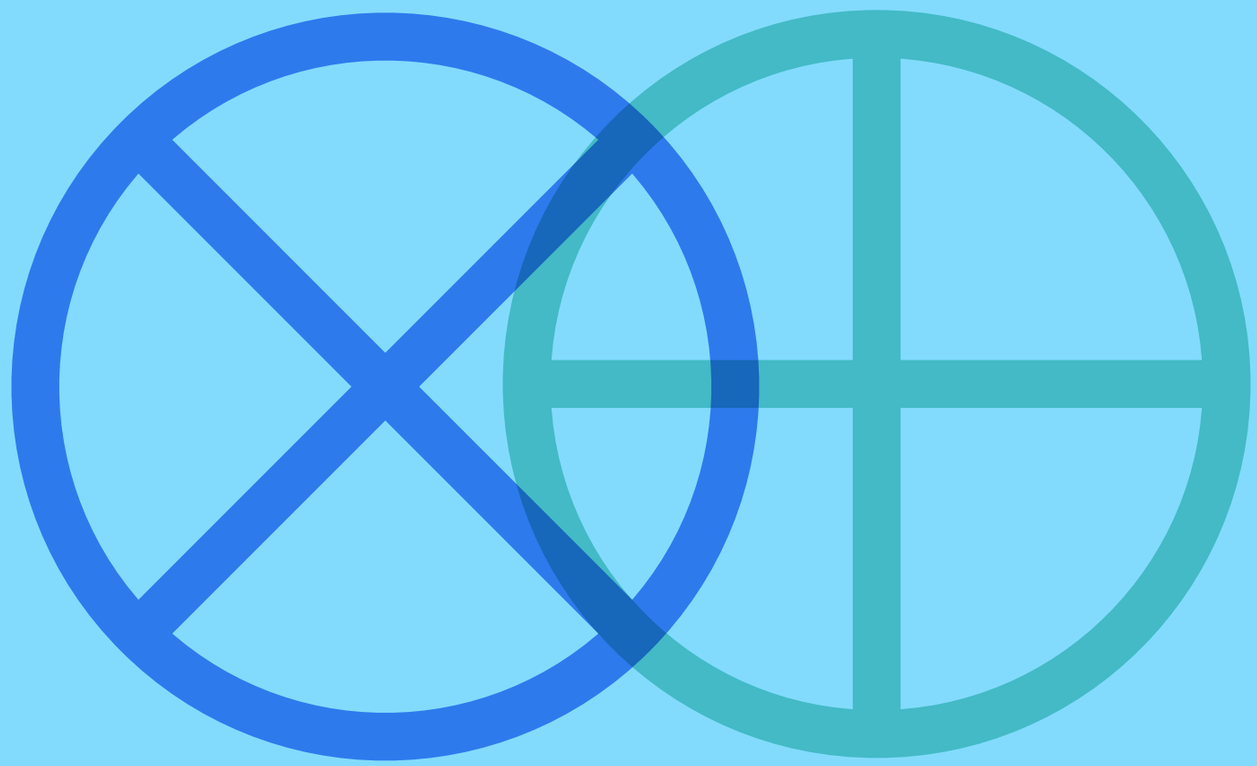
38. Iberdrola (n.d.). **“La brecha digital en el mundo y por qué provoca desigualdad.”** Consultado el 19 de marzo de 2021.

39. Zas-Marcos, M. **“La telemedicina maquilla el colapso de la Sanidad pública y se convierte en un negocio para la privada.”** El Diario, 5 de noviembre de 2020. Consultado el 19 de marzo de 2021.

02.
Fotónica

Tecnologías de la luz para
superar la Ley de Moore.

/ Más pequeño
/ Más rápido



/ Más sostenible
/ Más accesible

En clave

La fotónica estudia cómo utilizar los fotones, las partículas elementales de luz, para transmitir información. Hasta ahora estaba basada fundamentalmente en dispositivos de silicio, que limitaban la velocidad y las aplicaciones, además de ofrecer soluciones energéticamente poco eficientes. Actualmente, nuevos materiales como el grafeno y el nitruro de silicio abren nuevas posibilidades complementarias, desde la creación de sistemas de comunicaciones más sostenibles hasta la fabricación de sensores de amplio espectro para vehículos autónomos y robots. Las tecnologías de la luz tienen aplicaciones revolucionarias.

La tecnología

Utilizar la luz para acelerar las telecomunicaciones.

Los fotones son las partículas elementales de la luz. Técnicamente, son las manifestaciones cuánticas del fenómeno electromagnético y transportan todas las formas de radiación electromagnética, desde los rayos gamma y los rayos X hasta las microondas y las ondas de radio. La fotónica es el campo de la ciencia que estudia cómo generar fotones, así como detectarlos y manipularlos para aprovechar sus propiedades en aplicaciones como los láseres, los circuitos integrados y las telecomunicaciones. Como disciplina científica comenzó a desarrollarse en la década de 1960, cuando todas estas tecnologías estaban dominadas por la electrónica, que utiliza flujos de electrones (partículas elementales de electricidad). Aprovechar los fotones abría un mundo de posibilidades: son más rápidos, por lo que permiten aplicaciones más eficientes. Hoy en día, la fotónica está tan integrada en nuestro día a día que, a menudo, no somos conscientes de su importancia. Internet tal y como lo conocemos no existiría sin las comunicaciones basadas en fibra óptica, que utilizan la fotónica para emitir, transportar y captar fotones cargados de información. Además del *streaming* y las videoconferencias, vemos aplicaciones de la fotónica cada vez que pasamos por la caja del supermercado; los láseres de baja energía permiten detectar la información de los códigos de barras y automatizar la creación del tique de compra. Los avances en fotónica han llevado a la creación de pantallas LED de bajo consumo que permiten que nuestros móviles tengan batería durante todo el día. Pero, además, la fotónica será al siglo XXI lo que la electrónica al siglo pasado: acelerará la creación de redes de telecomunicaciones más eficientes (y, por tanto, menos

contaminantes), la automatización de procesos industriales y el desarrollo de nuevas aplicaciones en campos como la medicina y el control de calidad. En Europa, la industria de la fotónica está sentando las bases para la nueva economía digital, da empleo directo a 300.000 personas y, además, dedica gran parte de sus ingresos a la investigación y el desarrollo[1]. Y, durante los próximos años, la industria crecerá hasta generar un millón de puestos de trabajo en 2030, según la plataforma tecnológica europea Photonics21[2]. Recientemente, esta misma iniciativa anunció una colaboración público-privada dentro del programa de investigación e innovación 'Horizonte Europa' de la Unión Europea, mediante la que inyectarán 100.000 millones de euros en el desarrollo de la fotónica, para garantizar nuestra competitividad frente a los ambiciosos proyectos en China, Corea del Sur y EE. UU[3].

La industria fotónica da empleo a 300.000 personas en Europa. Se espera que este mercado laboral se amplíe hasta un millón en 2030.

El enorme potencial de la fotónica radica en reemplazar todos los procesos que utilizan electrones y sustituirlos por fotones. La luz avanza unas 100 veces más rápido que los electrones que viajan por los cables de cobre[4] y, además, lo hace de manera más eficiente. Cada paso que implica la transmisión de información entre dos puntos necesita que los electrones carguen y descarguen los cables, un ciclo que lleva tiempo y consume mucha energía, porque gran parte se desperdicia en forma de calor por efecto Joule, un fenómeno físico que explica por qué nuestros aparatos eléctricos y electrónicos se calientan cuando los usamos[5]. Esto afecta especialmente a los circuitos integrados, donde todas las operaciones lógicas funcionan gracias a cables y conexiones eléctricas microscópicas dentro de nuestros dispositivos. Ahí, la energía se desperdicia transmitiendo información entre los diferentes componentes electrónicos, en vez de aprovecharse para procesar datos y ejecutar programas[6]. La fotónica podría transformar estos dispositivos radicalmente, ya que minimizaría las pérdidas energéticas y abriría nuevas posibilidades en términos de computación.

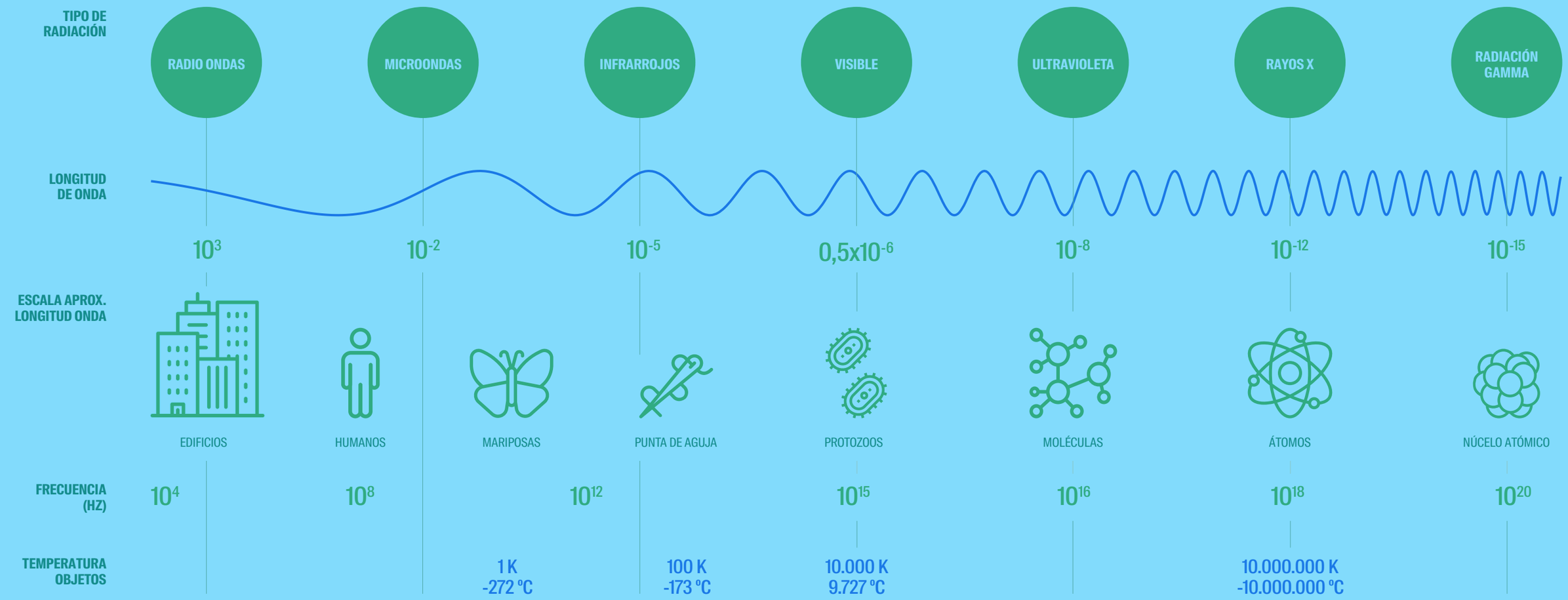
Más allá del mundo de la informática y las telecomunicaciones, la fotónica tiene aplicaciones en muchos otros sectores. Por ejemplo, las propiedades de la luz pueden utilizarse en el desarrollo de sensores con una sensibilidad y capacidades inusitadas. Un ejemplo es el proyecto AXSIS, financiado por el Consejo Europeo de Investigación, que utiliza la fotónica de rayos X ultrarrápidos para investigar y comprender procesos biológicos complejos como la fotosíntesis[7]. La fotónica también estudia los procesos para captar luz de manera más eficiente, una tecnología que puede aplicarse en la fabricación de placas solares y en la generación de energías renovables. Varios proyectos europeos, como TripleSolar, estudian las aplicaciones de la fotónica en procesos foto-electrolíticos, que permiten transformar la luz del sol directamente en combustibles limpios como el hidrógeno verde[8]. También son prometedoras las aplicaciones en medicina[9]: la fotónica facilitará la creación de herramientas de diagnóstico y tratamiento poco invasivas, desde dispositivos láser que pueden insertarse dentro de una célula (y pueden utilizarse, por ejemplo, para detectar tumores)[10] hasta la fabricación de test rápidos para la detección de enfermedades. Conscientes del potencial de la fotónica en medicina, la Unión Europea y la plataforma Photonics21 han creado el proyecto MedPhab, una línea de fabricación piloto para desarrollar dispositivos y prototipos médicos basados en tecnologías fotónicas[11].

La fotónica vive un momento de esplendor. Esta tecnología, considerada de nicho hace unas décadas, puede convertirse en una de las industrias más importantes del futuro, en lo que algunos han denominado como la era de la fotónica[12]. En palabras de Lluis Torner, director del Instituto Catalán de Ciencias Fotónicas (ICFO), las tecnologías de la luz tienen aplicaciones revolucionarias[13]. La luz transformará la industria del futuro.

Fuente: Wikipedia.

FIGURA 1.

EL ESPECTRO ELECTROMAGNÉTICO. LA LUZ (LA RADIACIÓN ELECTROMAGNÉTICA) PRESENTA UNA GRAN VARIEDAD DE LONGITUDES DE ONDA Y APLICACIONES. LA RADIACIÓN GAMMA PUEDE UTILIZARSE PARA ANALIZAR MATERIALES, LOS RAYOS-X SE USAN EN MEDICINA Y LAS MICROONDAS Y ONDAS DE RADIO SON LA BASE DE LAS COMUNICACIONES INALÁMBRICAS, INCLUIDO EL 5G. LA FOTÓNICA ESTUDIA CÓMO APROVECHAR LA LUZ PARA TRANSMITIR INFORMACIÓN DE FORMA MÁS EFICIENTE.



Oportunidades

Nuevos materiales para una fotónica más eficiente y sostenible.

En 1965, el fundador de Intel Gordon Moore observó que, cada dos años, se duplica el número de transistores de un microprocesador. Sin embargo, recientemente se ha observado una ralentización de la "Ley de Moore", tanto incluso que el gurú tecnológico ha predicho su desaparición durante la próxima década[14]. La fotónica podría, no obstante, evitar este bloqueo, incluso acelerar la innovación hasta alcanzar lo que se conoce popularmente como el escenario "more than Moore", un juego de palabras en inglés que significa "más allá de (la ley de) Moore".

Hasta ahora, los avances en este campo se han visto limitados por las capacidades fisicoquímicas del silicio. Este material, fundamental tanto en electrónica como en fotónica, es capaz de transformar la luz (fotones) en electricidad (electrones) gracias al efecto fotoeléctrico[15]. El resurgimiento de la fotónica avanza en paralelo al desarrollo de nuevos materiales como los semiconductores compuestos, el grafeno y otros materiales bidimensionales y los compuestos orgánicos avanzados. Aunque todavía hay que pulir los métodos de fabricación a gran escala, estos nuevos materiales permiten crear nuevas aplicaciones fotónicas que consumen menos energía, transmiten información a mayor velocidad y abren un mundo de posibilidades más allá del espectro visible[16].

Actualmente, las telecomunicaciones son responsables de un 4% de las emisiones de gases de efecto invernadero, comparable al impacto de los desplazamientos en avión. En tan sólo dos años, se estima que habrá tres dispositivos conectados a internet por cada persona en el planeta[17]; un número que seguirá creciendo hasta que, en 2040, nuestros aparatos electrónicos sean responsables de un 15% de las emisiones de CO_2. Los nuevos materiales como los semiconductores compuestos (carburo de silicio, nitruro de galio) y los materiales monocapa (grafeno, nitruro de boro, dicalcogenuros de metales de transición) son mucho más eficientes que el silicio transformando los fotones en electrones, por lo que permitirán crear dispositivos fotónicos sostenibles con un consumo reducido. La consultora PricewaterhouseCoopers estima que en los primeros 15 años de implementación de redes de fibra óptica, las emi-

siones de gases de efecto invernadero se reducirán en 330 kg de CO_2 equivalente por usuario y año, principalmente debido a una reducción en el uso de materiales y electricidad. Durante los próximos 15 años, el ahorro aumentará a 780 kg de CO_2 equivalente por usuario y año, porque la red ya estará instalada y solo será necesario renovar una parte de la infraestructura. En vista del fuerte aumento del tráfico móvil a 50 zettabytes en 2030, se estima a largo plazo una reducción del 10% en el consumo (kWh/GB) mediante el uso de fotónica en lugar de canales de cobre y microondas. De ese modo, el consumo global de energía en 2030 sería de 406 TWh en lugar de 668 TWh, lo que corresponde a una reducción del 40%. En emisiones de CO_2 equivalente por año, podría evitarse la emisión de unos 66 millones de toneladas en 2030[18]. En el mismo sentido que MedPhab, la Unión Europea también ha invertido en el desarrollo de una línea de producción piloto de dispositivos fotónicos y electrónicos que combinen materiales clásicos, como el silicio, con nuevas alternativas como el grafeno. El proyecto, denominado 2D-EPL, cuenta con la participación de Graphenea, una empresa española líder en el sector de los materiales bidimensionales. 2D-EPL ha recibido 20 millones de euros para desarrollar nuevos métodos de producción y se espera que se convierta en un servicio independiente y sostenible dentro de los próximos años[19].

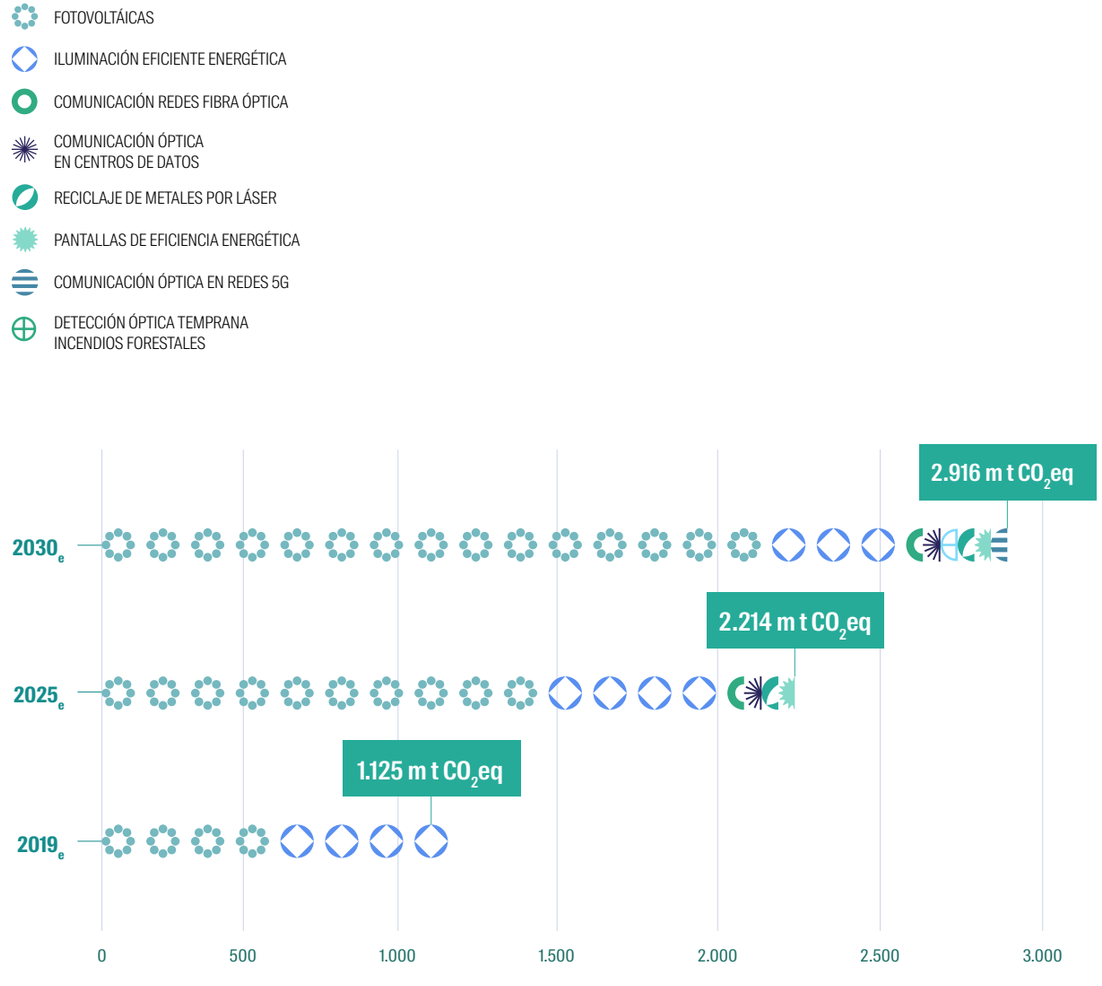
En este sentido, la nueva fotónica también permite la transmisión de datos con mayores anchos de banda y velocidades más altas. Algunos dispositivos fotónicos con grafeno ya permiten velocidades de transmisión de la información superiores a 120 gigabits por segundo, lo que facilitará el desarrollo de tecnologías como las redes *'Ethernet'* de 400 y 800 gigabits[20] y el avance hacia las soluciones sin cables del futuro: el 6G. Este nuevo protocolo de telecomunicaciones permite la conexión de dispositivos desde la tierra hasta el espacio, lo que favorecerá las comunicaciones seguras y encriptadas y y dará soporte a 10 millones de aparatos por kilómetro cuadrado, diez veces más que el 5G. Según informes de la consultora IDTechEx, el 6G es una industria que podría generar un billón de dólares antes de su lanzamiento, previsto para 2030[21]. Además de los materiales más famosos, como el

Fuente: SPECTARIS/TEMATYS.

FIGURA 2.

LA FOTÓNICA ES UNA TECNOLOGÍA SOSTENIBLE. GRACIAS AL DESARROLLO DE SISTEMAS FOTÓNICOS, MÁS EFICIENTES QUE LAS SOLUCIONES ELECTRÓNICAS ACTUALES, PODRÍAN REDUCIRSE LAS EMISIONES DE GASES DE EFECTO INVERNADERO. ESTAS CONTRIBUCIONES INCLUYEN LA CREACIÓN DE REDES DE TELECOMUNICACIONES QUE UTILIZAN MEJOR LA ENERGÍA, PANTALLAS LED DE BAJO CONSUMO Y SOLUCIONES DE ILUMINACIÓN MÁS SOSTENIBLES, ENTRE OTRAS COSAS.

POTENCIAL DE PROTECCIÓN CLIMÁTICA INDIRECTA DE LA FOTÓNICA, BASADA EN EJEMPLOS SELECCIONADOS.



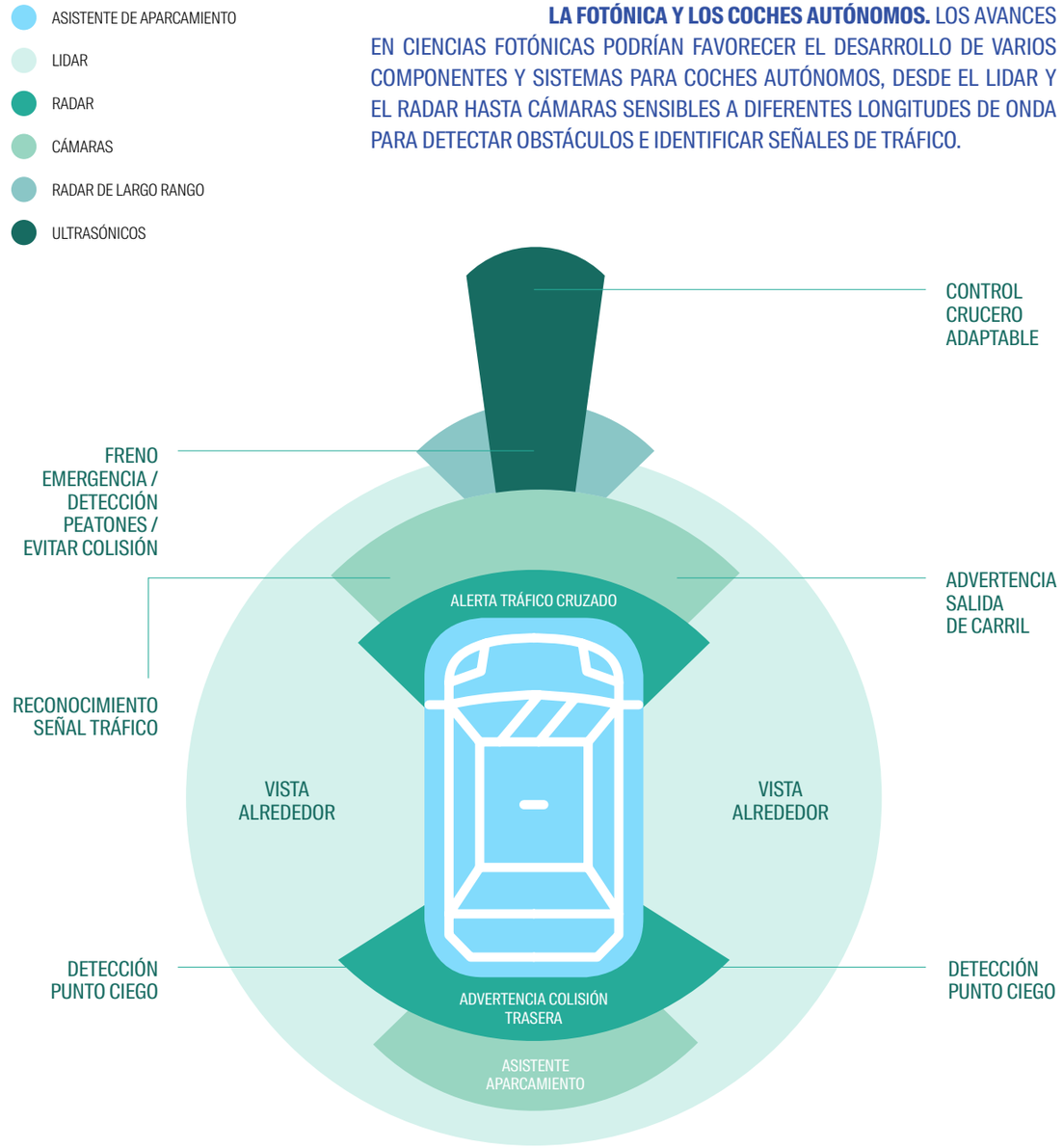
grafeno, los compuestos orgánicos avanzados (que han sido clave para el desarrollo de tecnologías como celdas solares y diodos LED ultra-eficientes), los materiales nanoestructurados y los puntos cuánticos también podrían transformar los dispositivos fotónicos del futuro[22].

Además de todas estas aplicaciones, los nuevos materiales permiten expandir las aplicaciones de la fotónica más allá del espectro visible. Adentrándonos en longitudes de onda como los infrarrojos o la luz ultravioleta, podemos encontrar dispositivos que utilizan la detección de luz para evaluar la calidad de la comida (como el proyecto GRAQDOBLEA desarrollado por ICFO y Graphenea)[23] y soluciones de visión artificial, sensores fotónicos que pueden utilizarse en robots de servicio, detección de objetos y coches autónomos[24]. Algunos de estos dispositivos fotónicos de amplio espectro podrían utilizarse también en biomedicina, tanto en nuevas tecnologías de imagen y diagnóstico como en nuevos aparatos flexibles y *wearables*, para controlar constantes vitales como el pulso cardiaco, la saturación de oxígeno y la temperatura[25]. Según Photonics21, el futuro de este campo conocido como "biofotónica" es uno de los más vibrantes y prometedores. Ya en 2010 suponía un mercado de 23.000 millones de euros, y está previsto que siga creciendo y generando nuevas tecnologías en los próximos años[26].

Fuente: PantherMedia.net

FIGURA 3.

LA FOTÓNICA Y LOS COCHES AUTÓNOMOS. LOS AVANCES EN CIENCIAS FOTÓNICAS PODRÍAN FAVORECER EL DESARROLLO DE VARIOS COMPONENTES Y SISTEMAS PARA COCHES AUTÓNOMOS, DESDE EL LIDAR Y EL RADAR HASTA CÁMARAS SENSIBLES A DIFERENTES LONGITUDES DE ONDA PARA DETECTAR OBSTÁCULOS E IDENTIFICAR SEÑALES DE TRÁFICO.



El potencial de España

Una oportunidad para liderar la transformación tecnológica en fotónica.

Podría decirse que toda la estrategia digital de Europa pivota sobre la fotónica integrada, considerada como una de las tecnologías clave para lograr una infraestructura digital, segura, soberana y resistente, según la "Nueva estrategia industrial para Europa" de la Comisión Europea[27] y los informes del Banco Europeo de Inversiones (BEI)[28]. Además, la última presidencia alemana del Consejo de la UE insistió en su carácter estratégico al afirmar que crear este ámbito económico digital singularmente europeo es clave para mantener nuestra competitividad una esfera tecnológica dominada por Estados Unidos y China.

España tiene menos del 1 por ciento del total de empresas de fotónica de la Unión Europea.

La posición de España en esta corriente transformadora es discreta, lo cual debe ser un acicate para intensificar la apuesta por esta tecnología. Tiene menos del 1% de las empresas de fotónica. El BEI ha localizado los grupos de industria más activos en una serie de regiones clave para promover los sectores de la fotónica y los semiconductores. Entre ellos destacan Silicon Saxony en Alemania, que se dedica a semiconductores y fotónica, y Minalogic en Francia cerca de Grenoble, que admite una gama de tecnologías que incluyen semiconductores y fotónica. Otros ejemplos notables incluyen PhotonDelta (Países Bajos/Bélgica), DSP Valley (Bélgica) y Distretto HTMB (Italia).

Los grupos de fotónica clave se encuentran en Alemania, el Reino Unido y Francia. También hay grupos más pequeños en Irlanda y Lituania. Mientras que los principales grupos de semiconductores se concentran en Alemania, Francia, Países Bajos, Bélgica e Italia. La mayoría de estos clústeres se construyen alrededor de grandes empresas como ST Microelectronics en Grenoble (Francia) o Globalfoundries e Infineon (Alemania). Al mismo tiempo, también están surgiendo varios conglomerados en Europa central y oriental, como por ejemplo el clúster de fotónica en Lituania.

España carece de infraestructuras para la fabricación de grandes series comerciales, pese a albergar experiencias de diseño de circuitos fotónicos mediante obleas multiproyecto, como los que han protagonizado la empresa VLC Photonics y el Instituto de Microelectrónica de Barcelona (IMB-CNM, CSIC)[29]. Ambos son referentes del sector en nuestro país, junto con otros centros de investigación destacados, como son el Instituto Catalán de Nanociencia y Nanotecnología (ICN2), ICFO y la Universidad Carlos III de Madrid. Entre las iniciativas en marcha, el consorcio MULTIPLE, desarrollará un sistema de bajo coste en el que se aplicarán sensores fotónicos de última generación, integrados en dispositivos IoT para operar con plataformas y servicios de análisis de datos en la nube[30]. Este innovador sistema se demostrará en tres sectores, siderurgia, maderero e industria chocolatera.

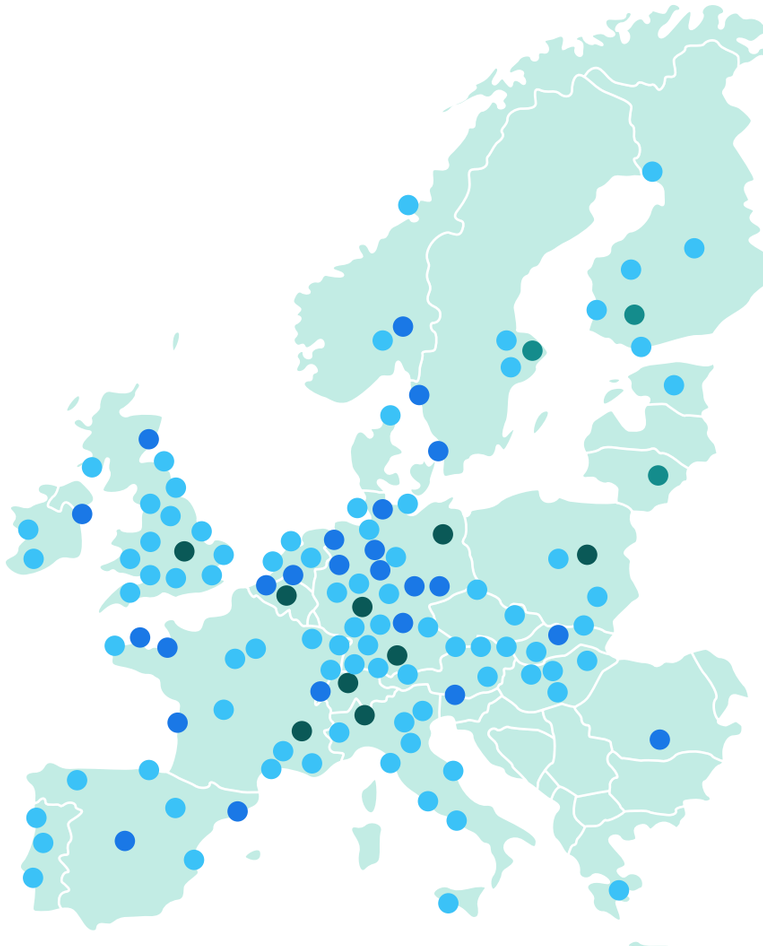
Por el lado de las empresas, VLC Photonics, surgida como spin off de la Universitat Politécnica de València, se ha convertido recientemente en empresa subsidiaria de Hitachi High-Tech Corporation a la que prestará servicios de ingeniería de circuitos integrados fotónicos[31]. Su gran desafío es dar el salto de diseñar y testear los microchips ópticos de silicio a encapsularlos para su uso en hélices de helicópteros y sensores biofotónicos. QURV, una nueva *spin-off* del ICFO, desarrollará nuevos sensores fotónicos de amplio espectro para acelerar la adopción de tecnologías de visión artificial[32]. Voptica tiene una tecnologia fotonica patentada única para aplicaciones médicas y ha sido una de las pocas spin-off españolas financiada por H2020. Junto a ellas, destacan también por su capacidad tecnológica otras compañías como LUMENSIA, Mediumics, LuzWavelabs, Das Photonics, Ephoox o BIOD.

Fuente: Project Team Analysis.

- CONCENTRACIÓN BAJA
- CONCENTRACIÓN MEDIA-BAJA
- CONCENTRACIÓN MEDIA-ALTA
- CONCENTRACIÓN ALTA

FIGURA 4.

LA FOTÓNICA EN EUROPA. LOS CLÚSTERS MÁS IMPORTANTES DE INVESTIGACIÓN, DESARROLLO E INNOVACIÓN EN FOTÓNICA SE ENCUENTRAN EN FRANCIA, ALEMANIA, PAÍSES BAJOS Y REINO UNIDO. ESPAÑA CUENTA CON VARIOS CENTROS DE INVESTIGACIÓN Y EMPRESAS PUNTERAS, PERO TODAVÍA TIENE QUE INVERTIR EN ESTA TECNOLOGÍA PARA COLOCARSE AL MISMO NIVEL QUE LOS LÍDERES EUROPEOS.

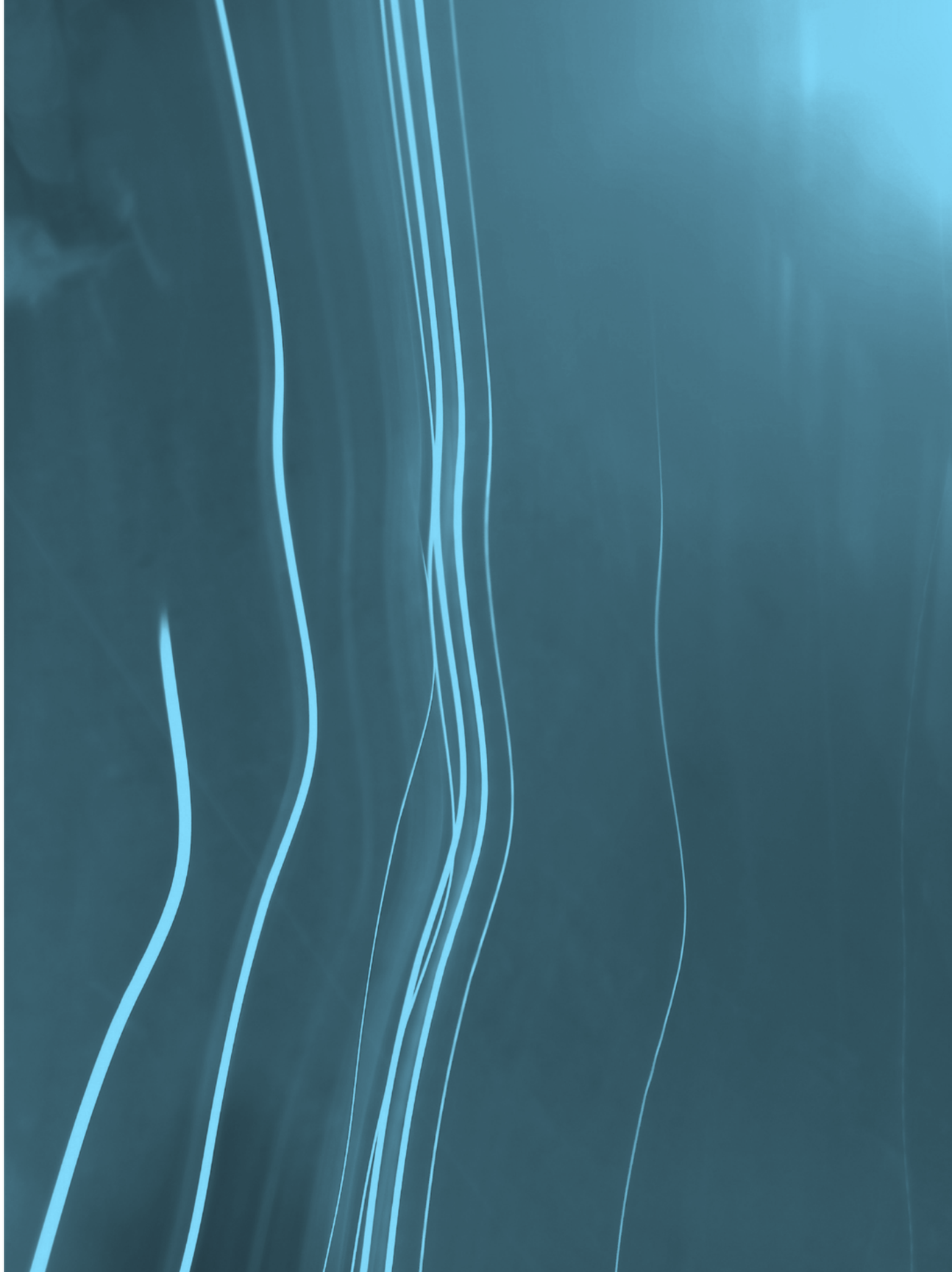


Retos

Mantener la competitividad en un mercado global.

Europa no puede perder tiempo porque la carrera global es imparable. El gobierno de Corea del Sur anunció en 2015 un incremento de la inversión en fotónica en 2.800 millones de euros al año hasta 2020. El gobierno central chino también aumentó su gasto anual en fotónica en un 40% hasta los mil millones de euros, una cifra que hay que complementar con la procedente de las inversiones regionales. EE. UU. ha clasificado a la fotónica como una tecnología habilitadora clave estratégica y ha identificado campos críticos para su competitividad y su seguridad nacional. La iniciativa estadounidense AIM Photonics ha proporcionado 610 millones de dólares a iniciativas público-privadas para desarrollar capacidades de fabricación de fotónica integrada con sede en EE.UU. El lugar de Europa como líder del mercado todavía no está garantizado.

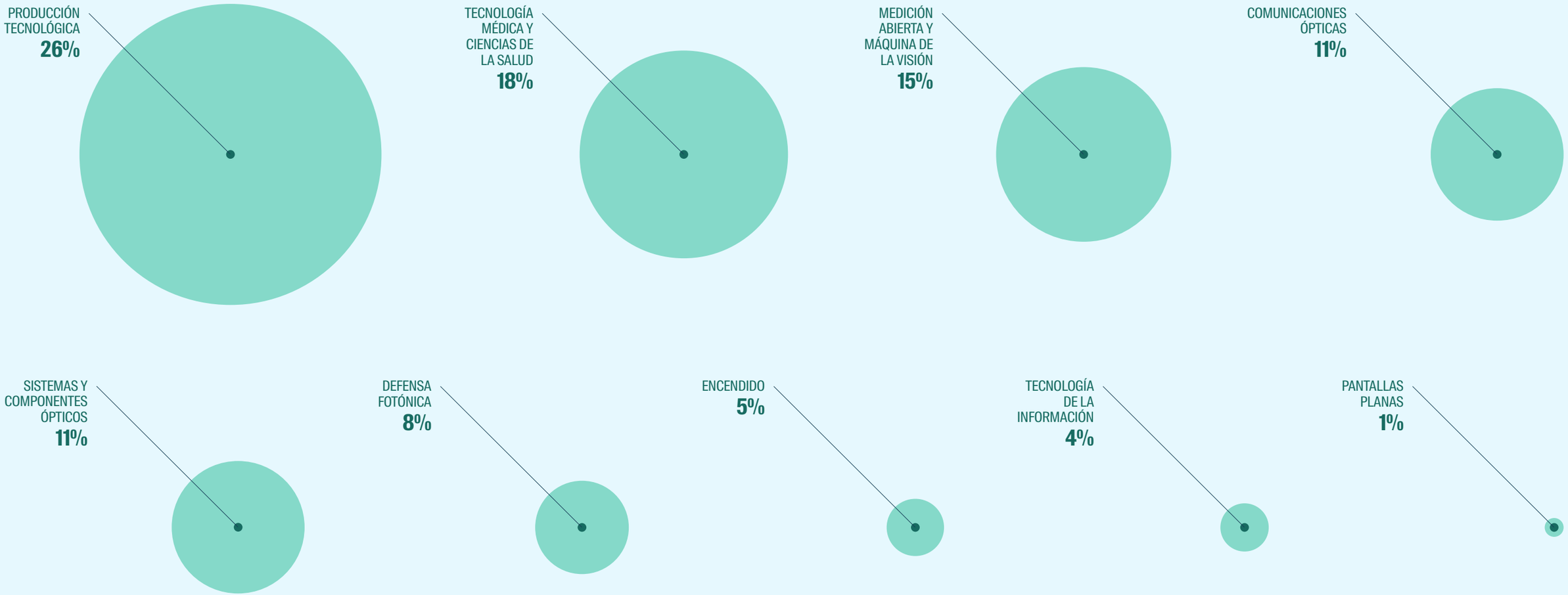
Europa es líder mundial en la investigación científica, el desarrollo tecnológico y las aplicaciones industriales de la fotónica. De hecho, ha sido capaz de generar cuatro premios Nobel en el área fotónica solo en la última década[33]. Alberga instalaciones líderes de prototipos de fotónica en sus centros tecnológicos y en la industria, y también tiene un ecosistema único con más de 5.000 pymes y grandes empresas, que emplean directamente a más de 300.000 personas. Gracias a ello, sigue siendo el segundo mayor proveedor mundial de componentes y productos de fotónica después de China, con una cuota global del 15% al 17%, en un mercado muy dinámico que se espera que alcance el billón de euros de negocio antes de 2027[34].

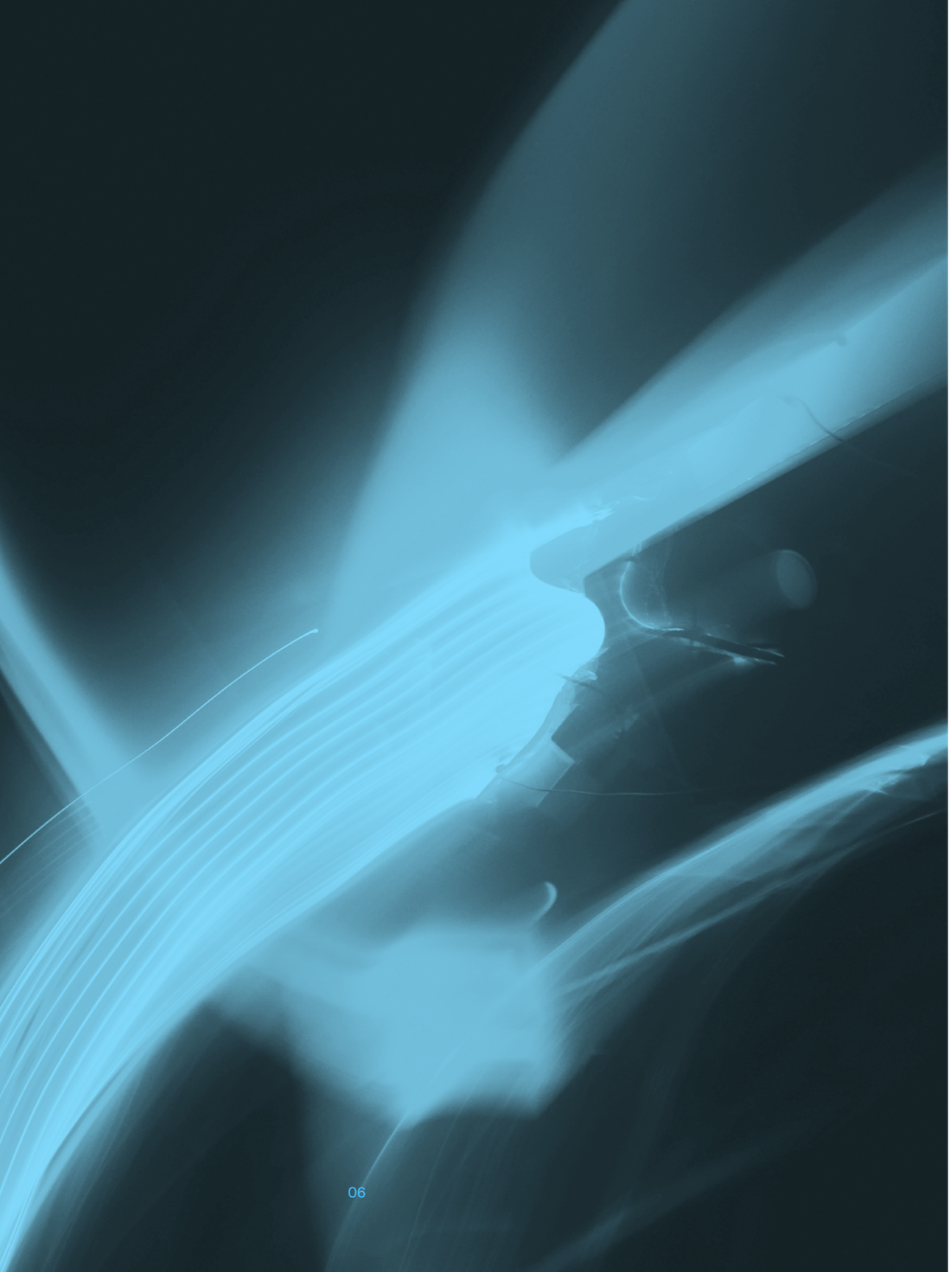


Fuente: Project Team Analysis / EIB.

FIGURA 5.

EMPRESAS DE FOTÓNICA. LAS EMPRESAS DE FOTÓNICA SE DEDICAN A DIFERENTES APLICACIONES, COMO TECNOLOGÍAS DE PRODUCCIÓN DE DISPOSITIVOS, BIOMEDICINA Y SALUD, TELECOMUNICACIONES, VISIÓN ARTIFICIAL Y ROBÓTICA E ILUMINACIÓN, ENTRE OTRAS. ESTE GRÁFICO MUESTRA LA DISTRIBUCIÓN DE EMPRESAS EN ESTE SECTOR SEGÚN EL TIPO DE APLICACIONES QUE DESARROLLAN.





Photonics21 y EPIC, el Consorcio de la Industria de la Fotónica Europea, destacan que las tecnologías fotónicas son un elemento crítico en las seis cadenas de valor estratégicas identificadas por la Comisión Europea, incluidas las tres iniciativas adicionales en baterías, microelectrónica y computación de alto rendimiento. Así, por ejemplo, la tecnología LIDAR, el equivalente óptico del radar, es crítica para la detección en 3D en tiempo real de los vehículos autónomos. Además de otras ventajas, el LIDAR ofrece tiempos de respuesta mucho más rápidos y mayor resolución. En salud, las tecnologías basadas en fotónica permitirán atender el incremento de demanda de intervenciones sanitarias rápidas, precisas, personalizadas y rentables. Proporcionan sensores para dispositivos de imagen médica como la resonancia magnética, fluorescencia y componentes espectrales para cirugía guiada por imágenes, elementos acústico-ópticos para microscopía avanzada y soluciones para la fabricación de productos basados en células.

Las tecnologías fotónicas son un elemento crítico en las seis cadenas de valor estratégicas identificadas por la Comisión Europea.

Para el internet de las cosas (IoT) y su implantación en infraestructuras industriales inteligentes, la fotónica integrada abre la puerta a nuevos desarrollos en sensores, actuadores y otros dispositivos interconectados mediante sistemas de comunicación óptica omnipresentes. Se espera que para 2022, los sensores de presión y temperatura y los fotodetectores representen casi el 80% de todos los sensores de IoT habilitados a nivel mundial. Nos encaminamos, gracias a ellos, a la economía de terabits, con la aparición del LiFi (un sistema de transmisión de datos a través de luz visible) como alternativa en muchos ámbitos del propio WiFi. Se espera que el LiFi se incorpore a la iluminación y podría tener impacto en un transporte por carretera libre de accidentes y congestión con el desarrollo de faros antideslumbrantes, que mejoren la seguridad vial y podrían utilizarse para la comunicación entre vehículos, según un informe de Photonics21.

Se prevé asimismo que las tecnologías fotónicas tengan también múltiples aplicaciones a lo largo de la cadena de valor de las baterías, desde la producción de electrodos hasta el ensamblaje de módulos. Y en el caso de la computación de alto rendimiento, ofrecerán soluciones a la generación de calor y a las limitaciones de ancho de banda a las que se enfrenta la industria. Las computadoras cuánticas totalmente fotónicas se desarrollarán utilizando estados comprimidos de luz, óptica lineal, detectores de fotones y dispositivos fotónicos integrados. En este sentido, la Comisión Europea ha anunciado que desarrollará una infraestructura de comunicación cuántica crítica diseñada para desplegar en los próximos 10 años una red de extremo a extremo segura certificada, que proteja los activos digitales clave de la UE y sus Estados miembros[35]. Sin las tecnologías fotónicas críticas adecuadas para permitir las comunicaciones cuánticas, esto es inviable.

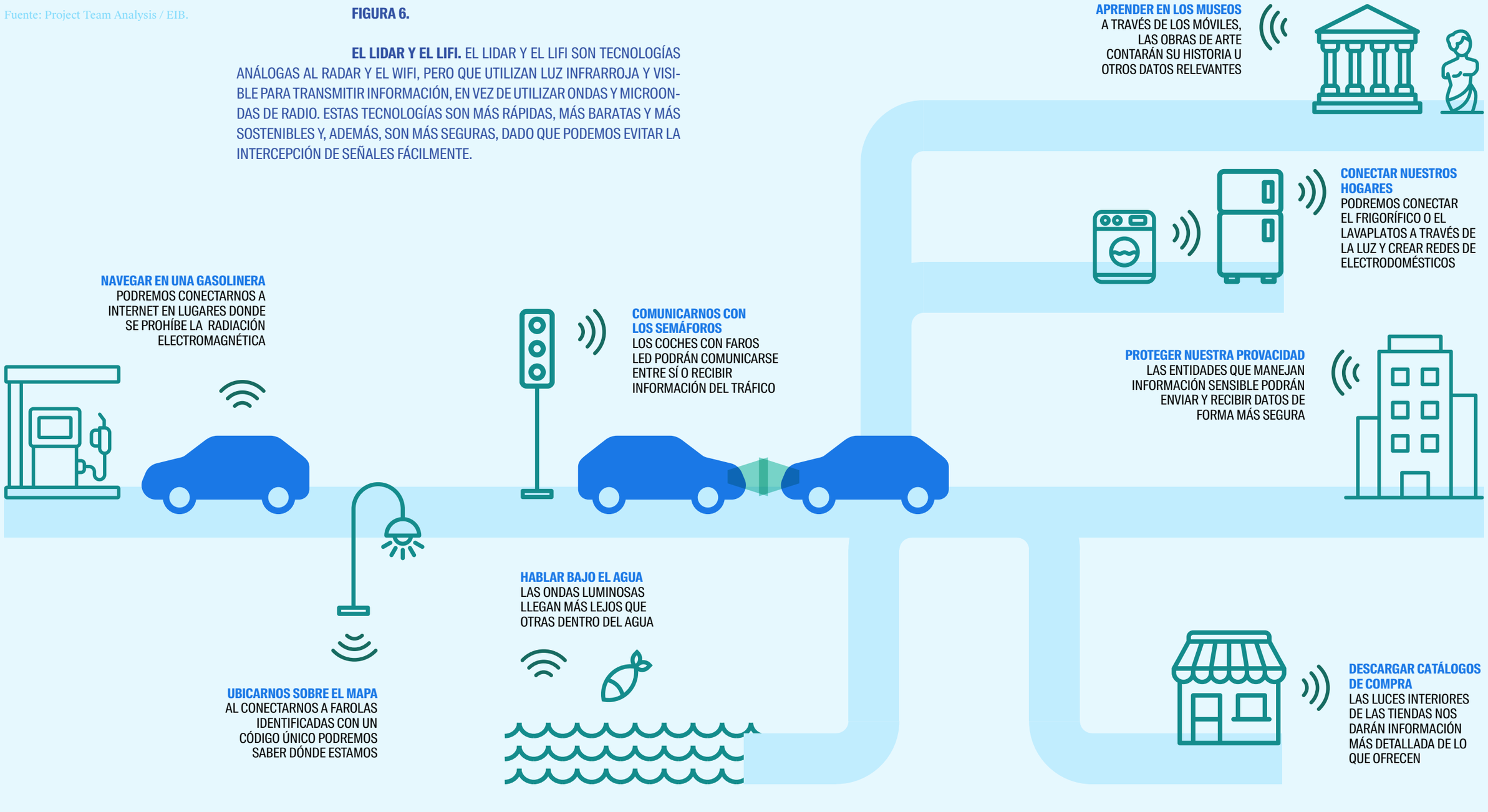
La industria de la fotónica ha aumentado sus ingresos en los últimos años, especialmente en cinco áreas. En concreto, entre 2012 y 2019 crecieron el sector biomédico (+13%), incluidas las pruebas de seguridad alimentaria; la defensa, seguridad y protección (+10%), impulsadas por las ganancias en más de 30 subsegmentos combinados con aumentos sustanciales en videovigilancia, seguridad perimetral y detección, e inversión en equipos para sistemas de energía dirigida; la detección, monitoreo y control (+10%), en especial los sistemas autónomos y el internet de las cosas; y la fabricación avanzada (+ 8%), fundamentalmente los láseres para el procesamiento de materiales. Mientras tanto, otras tecnologías como la robótica y las tecnologías de visión artificial mantuvieron su impulso, al igual que la implementación de la impresión 3D, fabricación aditiva y el procesamiento de semiconductores (+8%).

Ana González, R&D Manager en EPIC afirma que, en España, el principal problema es la cadena de suministro. Para fabricar dispositivos fotónicos es necesario invertir en plantas de fabricación *'foundry'* especializadas. Para ello, hay que identificar las materias primas y las aplicaciones deseadas, que modifican la longitud de onda y otras características. Actualmente, España sólo cuenta con una instalación de este tipo en Barcelona, en el Instituto de Microelectrónica de Barcelona (IMB-CNM, CSIC). Además, es necesario invertir en transferencia de tecnología. González cree que los centros deberían contratar desarrolladores de negocio, invertir en *spin-offs* e ir más allá de la investigación. También es importante que haya cambios en la política científica y un apoyo inicial del Gobierno, como han hecho otros países, para fomentar el desarrollo de aplicaciones tecnológicas y acelerar la creación de empresas que diseñen y fabriquen dispositivos fotónicos. La más prometedora era, quizás, VLC Photonics, con los diseños en fotónica integrada más potentes del mundo, según González. Pero ahora la ha absorbido Hitachi, España tiene que empezar de cero.

Fuente: Project Team Analysis / EIB.

FIGURA 6.

EL LIDAR Y EL LIFI. EL LIDAR Y EL LIFI SON TECNOLOGÍAS ANÁLOGAS AL RADAR Y EL WIFI, PERO QUE UTILIZAN LUZ INFRARROJA Y VISIBLE PARA TRANSMITIR INFORMACIÓN, EN VEZ DE UTILIZAR ONDAS Y MICROONDAS DE RADIO. ESTAS TECNOLOGÍAS SON MÁS RÁPIDAS, MÁS BARATAS Y MÁS SOSTENIBLES Y, ADEMÁS, SON MÁS SEGURAS, DADO QUE PODEMOS EVITAR LA INTERCEPCIÓN DE SEÑALES FÁCILMENTE.

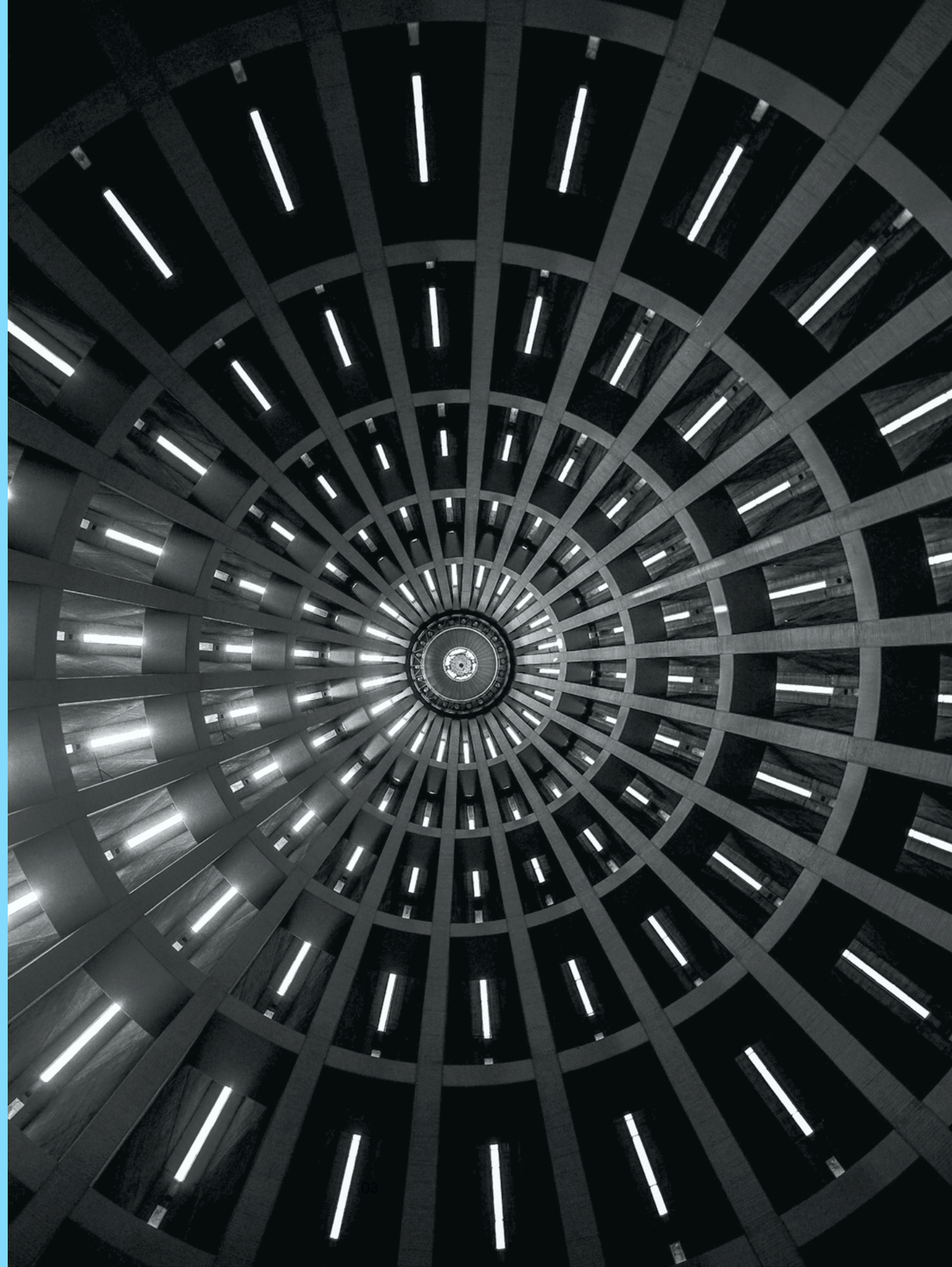


Javier García Martínez

Conclusiones

Un futuro de luces y sombras.

La fotónica tiene el potencial de transformar la industria de las telecomunicaciones, así como de revolucionar la robótica y los procesos de automatización, la medicina avanzada y las tecnologías *wearables* y los sistemas de control de calidad en diferentes sectores. Pero para que España y Europa sean competitivas en este campo, es necesario aumentar la inversión tanto en investigación básica y aplicada como en el desarrollo de spin-offs y empresas que puedan explotar la tecnología y llevarla al mercado antes que nuestros competidores en América y Asia. Por ello, es fundamental que la Unión Europea y los consorcios de grandes empresas sigan apoyando iniciativas como MedPhab o la 2D-EPL, plataformas que acelerarán la fabricación de dispositivos fotónicos basados en nuevos materiales y asegurarán el posicionamiento de Europa como líder en este sector.



1. Ramponi, R. y Anania, G. **“Securing the Future for European Photonics.”** Optics and Photonics, 1 de septiembre de 2018. Consultado el 11 de marzo de 2021.

2. Fotónica21 (2018). **“La Fotónica Europea creará 1 millón de nuevos empleos para 2030.”** Consultado el 11 de marzo de 2021.

3. Science Business (2019). **“Photonics industry to invest €100 billion in R&I in new Horizon Europe partnership.”** Consultado el 11 de marzo de 2021.

4. UCSB (1997). **“We want to know which is faster: electricity or light?”** Consultado el 11 de marzo de 2021.

5. Rivera, N. **“Qué es el efecto Joule y por qué se ha convertido en algo trascendental para nuestras vidas.”** Hipertextual, 24 de mayo de 2016. Consultado el 11 de marzo de 2021.

6. Jordan, S. **“The promise of silicon photonics.”** Physics World, 18 de junio de 2019. Consultado el 11 de marzo de 2021.

7. CORDIS (2020). **“Unas nuevas técnicas de rayos X ultrarrápidos podrían captar el movimiento de los electrones a escala molecular.”** Consultado el 11 de marzo de 2021.

8. CORDIS (2020). **“Solar Energy Conversion in Molecular Multi-Junctions.”** Consultado el 11 de marzo de 2021.

9. López-Higuera, J.M. **“El fotón en la revolución de la medicina del siglo XXI.”** Anales de la Real Academia Nacional de Medicina de España, 22 de junio de 2019. Consultado el 11 de marzo de 2021.

10. CORDIS (2020). **“Unos láseres minúsculos en el interior de células potencian la imagenología en investigación biomédica.”** Consultado el 11 de marzo de 2021.

11. Medphab (2020). **“Medical tools developed quicker thanks to new EU Pilot Line.”** Consultado el 11 de marzo de 2021.

12. Lucio, M. **“La era de la fotónica.”** Cinco Días, 5 de junio de 2015. Consultado el 11 de marzo de 2021.

13. Madridejos, A. **“Entrevista a Lluis Torner.”** El Periódico de Cataluña, 19 de marzo de 2017. Consultado el 11 de marzo de 2021.

14. Jones, M. **“More than Moore.”** Innovate UK Blog, Gobierno de Reino Unido, 25 de mayo de 2016. Consultado el 11 de marzo de 2021.

15. Santaolalla, J. **“¿Sabes qué es el efecto fotoeléctrico?”** Date un Voltio, 26 de julio de 2017. Consultado el 11 de marzo de 2021.

16. Catapult Semiconductors (n.d.). “**What are compound semiconductors?”** Consultado el 11 de marzo de 2021.

17. Weissberger, A. **“Cisco’s Annual Internet Report (2018–2023) forecasts huge growth for IoT and M2M; tepid growth for Mobile.”** IEEE Commmunications Society Technology Blog, 20 de febrero de 2020. Consultado el 11 de marzo de 2021.

18. Messe München / Spectaris (2019). **“Light as the key to global environment sustainability”.** Consultado el 19 de marzo de 2021.

19. EMSNOW (2021). **“European Commission (EC) launches its first experimental pilot line for graphene and layered materials.”** Consultado el 11 de marzo de 2021.

20. Marconi, S. et al. **“Photo thermal effect graphene detector featuring 105 Gbit s–1 NRZ and 120 Gbit s–1 PAM4 direct detection.”** Nature Communications, 5 de febrero de 2021. Consultado el 11 de marzo de 2021.

21. IDTechEx (2021). **“6G Communications a Trillion Dollar Opportunity, Reveals IDTechEx.”** Consultado el 11 de marzo de 2021.

22. Annadhasan, M. et al. **“Next-Generation Organic Photonics: The Emergence of Flexible Crystal Optical Waveguides.”** Advanced Optical Materials, 9 de septiembre de 2020. Consultado el 11 de marzo de 2021.

23. Graphenea (n.d.). **“Hybrid graphene – quantum dot infrared photodetectors for food safety.”** Consultado el 11 de marzo de 2021.

24. ICFO (2020). **“New type of graphene photodetector enables low-cost cameras for self-driving cars and robots.”** Consultado el 11 de marzo de 2021.

25. ICFO (2017). **“Future wellness sensing.”** Consultado el 11 de marzo de 2021.

26. Photonics21 (2013). **“Photonics Driving Economic Growth in Europe.”** Consultado el 11 de marzo de 2021.

27. Comisión Europea (2020). **“A New Industrial Strategy for Europe”.** Consultado el 10 de marzo de 2020.

28. BEI (2018). **“Financing the digital transformation Unlocking the value of photonics and microelectronics.”** Consultado el 11 de marzo de 2021.

29. SECPHO (2017). **“Cadena de valor de la fotónica integrada en España.”** Consultado el 10 de marzo de 2021.

30. AIMEN (2020). **“MULTIPLE desarrollará un sistema de bajo coste para optimizar procesos productivos con tecnologías fotónicas.”** Consultado el 11 de marzo de 2021.

31. SECPHO (n.d.). **“VLC Photonics entra a formar parte de Hitachi High-Tech para reforzar las capacidades fotónicas del grupo nipón.”** Consultado el 11 de marzo de 2021.

32. ICFO (2020). **“QURV becomes ICFO’s 8th spin-off.”** Consultado el 11 de marzo de 2021.

33. Prieto, M. **“La industria fotónica europea está dispuesta a invertir hasta 100 mil millones de euros en investigación y desarrollo.”** SmartLIGHTING, 19 de junio de 2019. Consultado el 11 de marzo de 2021.

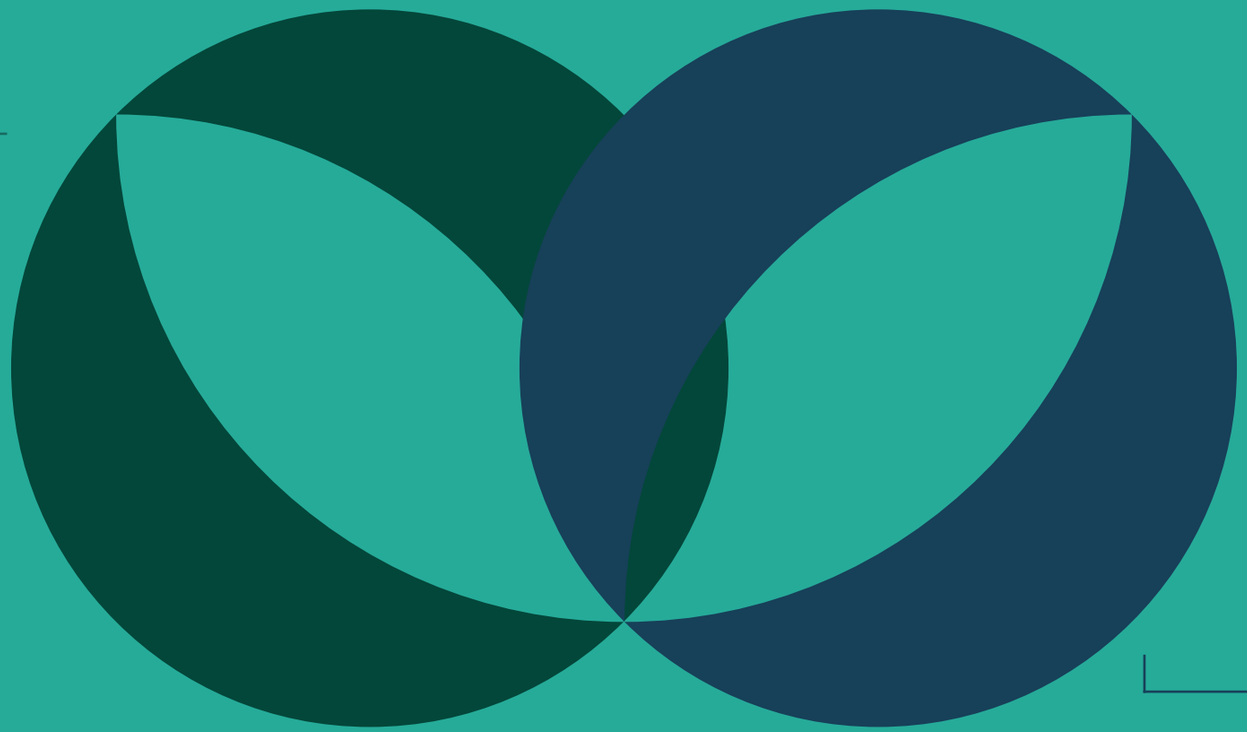
34. Photonics21 (2020). **“Strategic Roadmap Europe’s age of light! How photonics will power growth and innovation.”** Consultado el 10 de marzo de 2021.

35. Comisión Europea (2020). **“The Strategy on Shaping Europe’s Digital Future.”** Consultado el 11 de marzo de 2021.

03. Hidrógeno

Nuevos procesos para su generación.

/ Reducción emisiones
/ Energías renovables



/ Desarrollo económico
/ España

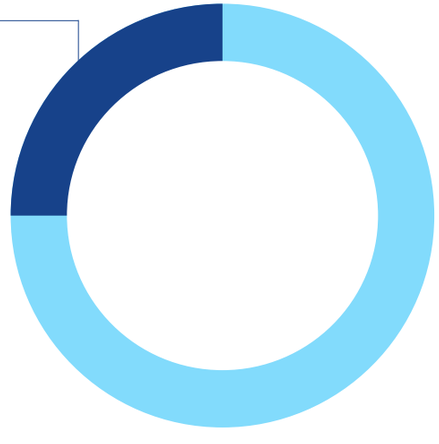
En clave

El hidrógeno es un combustible que puede sustituir al gas natural y al petróleo, acelerando los procesos de descarbonización. Sin embargo, al contrario que los combustibles fósiles, no puede extraerse directamente de la naturaleza, lo que plantea una serie de retos para su obtención, transporte y almacenaje.

Aun así, la UE lo considera un pilar fundamental hacia sus objetivos de neutralidad climática y estima que, en 2050, el hidrógeno generará el 25% de toda la energía europea[1]. Hasta entonces, planea invertir 500.000 millones de euros para incentivar la adopción de esta tecnología, según Bloomberg[2]. Además, el hidrógeno verde podría acelerar la descarbonización de varios procesos industriales, como la fabricación de amoniaco y el refino de petróleo.

25%

DE LA ENERGÍA EUROPEA SERÁ GENERADA POR EL HIDRÓGENO EN 2050



La tecnología

Un combustible que no genera CO_2.

Desde hace años, el ser humano depende de combustibles fósiles como el carbón, el gas natural o el petróleo. Además de ser unos recursos finitos, al quemarlos generamos grandes cantidades de dióxido de carbono (CO_2). Este gas favorece el efecto invernadero y es uno de los mayores culpables de la crisis climática actual[3]. Necesitamos combustibles más sostenibles y menos contaminantes. Uno de los candidatos más interesantes es el hidrógeno.

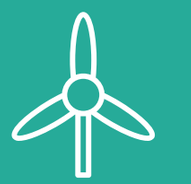
El hidrógeno es un combustible limpio, al quemarse, sólo produce agua. De hecho, el nombre de este elemento significa “generador de agua” en griego. Por eso, si empezáramos a usarlo como fuente de energía, podríamos acelerar los procesos de descarbonización y ralentizar el calentamiento global. Europa quiere alcanzar la neutralidad climática (es decir, neutralizar las emisiones de CO_2 compensando emisión y absorción) en 2050[4]. Y el hidrógeno es uno de los pilares fundamentales del nuevo *‘Green Deal’* europeo, la estrategia de la UE para liderar la transición ecológica apoyando, al mismo tiempo, el desarrollo económico y la creación de empleos. La inversión en hidrógeno es una prioridad para los 27 que, en los próximos treinta años, invertirán medio billón de euros para transformar la industria, renovar el transporte y diseñar un nuevo panorama energético.

Sin embargo, no podemos obtener hidrógeno directamente de la naturaleza como hacemos con el carbón y el petróleo. Es un “vector energético”, un almacén de energía intermedio. Y los procesos actuales para generar hidrógeno

Fuente: Asociación Española de Operadores de Productos Petrolíferos.

FIGURA 1.

LA CADENA DE VALOR DEL HIDRÓGENO. EL HIDRÓGENO PUEDE GENERARSE A PARTIR DE ENERGÍA ELÉCTRICA LIMPIA (HIDRÓGENO VERDE) O DE COMBUSTIBLES FÓSILES (HIDRÓGENO GRIS Y AZUL). ESTE GRÁFICO REPRESENTA LOS DIFERENTES USOS DE ESTA SUSTANCIA, ASÍ COMO LOS RETOS QUE PLANTEAN SU ALMACENAMIENTO Y TRANSPORTE.



Energía eléctrica

+



Agua



Combustibles

- *Gas natural*
- *Biomasa*
- *Hidrocarburos*

H_2

CO_2

Amoniaco y líquidos orgánicos

H_2 y H_2 licuado

Gas natural sintético (Power to gas)

Combustibles líquidos sintéticos (Power to liquid)

ALMACENAMIENTO:



Periodos cortos y volúmenes pequeños



Periodos largos y volúmenes grandes

TRANSPORTE:



Distancias cortas y caudales pequeños



Distancias largas y caudales grandes

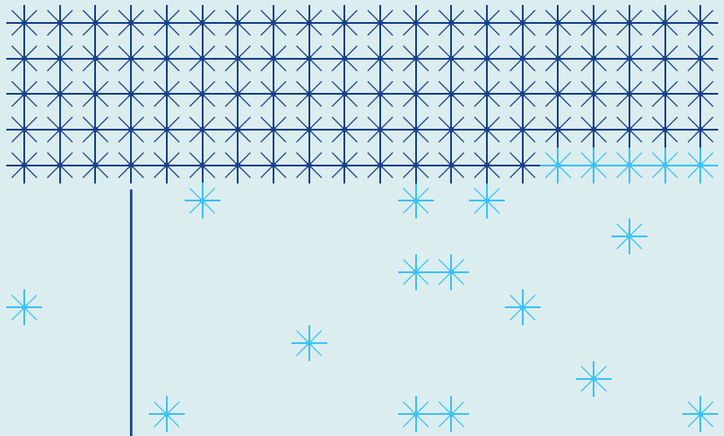
USO FINAL:

1. MOVILIDAD
2. INTEGRACIÓN SECTORIAL
3. INDUSTRIA
4. RESIDENCIAL/ COMERCIAL

Infraestructuras de transporte y almacenamiento de productos petrolíferos

plantean serios problemas medioambientales. A día de hoy, más de un 95% del hidrógeno que utiliza la industria proviene de combustibles fósiles[5]; es lo que se conoce como hidrógeno gris. Se obtiene mediante un proceso de reformado a altas temperaturas a partir de hidrocarburos como el metano. Pero, además de hidrógeno, este proceso genera dióxido de carbono. Según la Agencia Internacional de la Energía (IEA, por sus siglas en inglés), alrededor de un 2.4% de las emisiones globales de CO2 provienen de los procesos de reformado[6]. La mayor parte de este hidrógeno lo utiliza la industria química, tanto para la producción de amoniaco como para el refinado del petróleo.

Necesitamos encontrar nuevas tecnologías que nos permitan fabricar hidrógeno verde. Proviene de la electrólisis del agua, una tecnología que separa el hidrógeno y el oxígeno



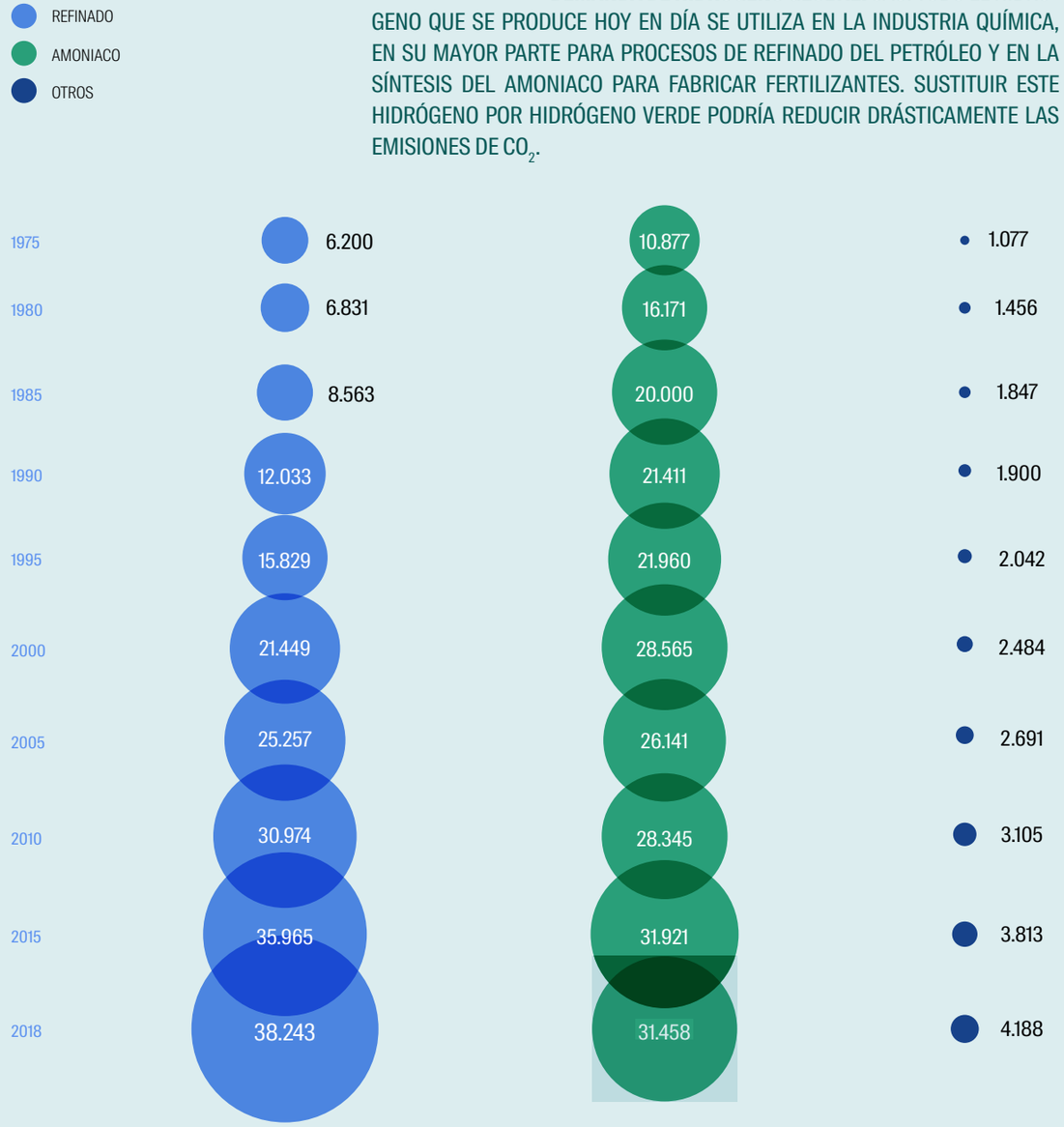
+ 95%

DEL HIDRÓGENO QUE UTILIZA LA INDUSTRIA PROVIENE DE COMBUSTIBLES FÓSILES

Fuente: International Energy Agency, 2019.

FIGURA 2.

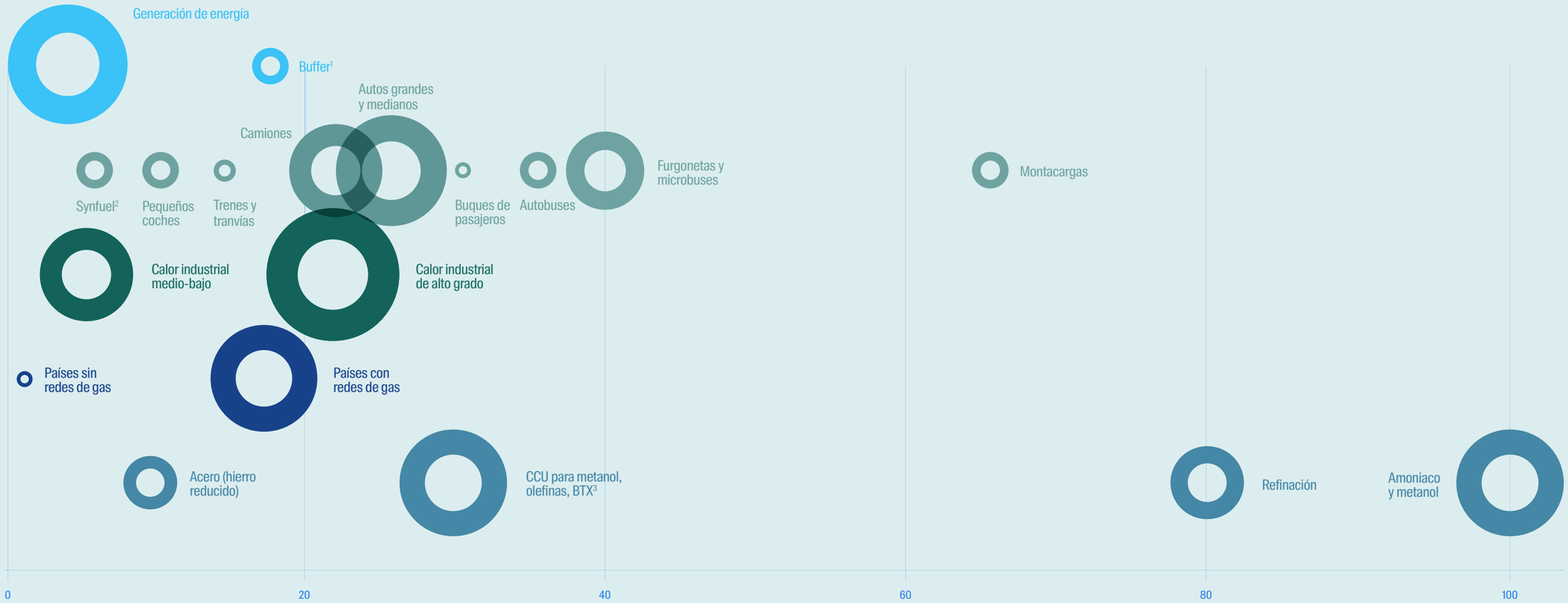
DEMANDA DE HIDRÓGENO GLOBAL. CASI TODO EL HIDRÓGENO QUE SE PRODUCE HOY EN DÍA SE UTILIZA EN LA INDUSTRIA QUÍMICA, EN SU MAYOR PARTE PARA PROCESOS DE REFINADO DEL PETRÓLEO Y EN LA SÍNTESIS DEL AMONIACO PARA FABRICAR FERTILIZANTES. SUSTITUIR ESTE HIDRÓGENO POR HIDRÓGENO VERDE PODRÍA REDUCIR DRÁSTICAMENTE LAS EMISIONES DE CO_2.



Fuente: McKinsey & Company.

FIGURA 3.

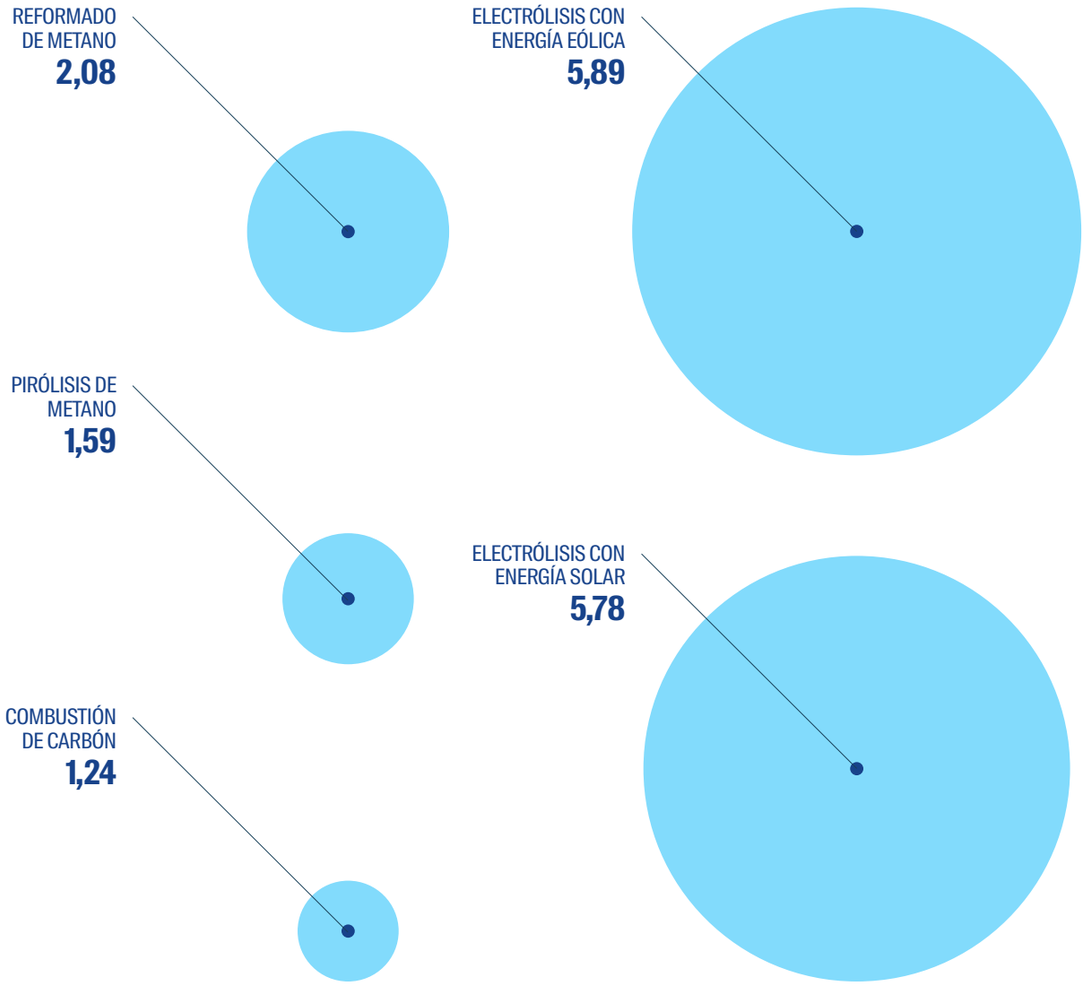
LA IMPORTANCIA DEL HIDRÓGENO EN LOS PROCESOS DE DESCARBONIZACIÓN. EL HIDRÓGENO VERDE TIENE UN GRAN POTENCIAL PARA DESCARBONIZAR PROCESOS INDUSTRIALES COMO LA FABRICACIÓN DE AMONIACO Y EL REFINO DE PETRÓLEO, ASÍ COMO PARA REDUCIR LAS EMISIONES DE CO_2 ASOCIADAS A LA GENERACIÓN Y EL CONSUMO DE ENERGÍA ELÉCTRICA. ESTE GRÁFICO ANALIZA LAS OPORTUNIDADES DEL HIDRÓGENO PARA CONQUISTAR ESTOS SECTORES EN 2050.



Referencia: Solar hydrogen production, Academic Press-Elsevier, 2019 (DOI: 10.1016/C2017-0-02289-9) y elaboración propia.

FIGURA 4.

EL PRECIO DEL HIDRÓGENO. FABRICAR HIDRÓGENO A PARTIR DE COMBUSTIBLES FÓSILES (HIDRÓGENO GRIS) ES MUCHO MÁS BARATO QUE OBTENERLO DE FUENTES DE ENERGÍA RENOVABLES (HIDRÓGENO VERDE).



utilizando corrientes eléctricas. Si empleamos fuentes de energía renovables, podemos fabricar hidrógeno de forma sostenible, sin contribuir al cambio climático.

De momento, la electrólisis del agua todavía no es competitiva; resulta entre 5 y 10 veces más cara que el reformado[7]. A día de hoy, China lidera el mercado de los electrolizadores[8], pero la UE no quiere quedarse atrás: en 2030 quiere tener listas las instalaciones necesarias para generar 10 millones de toneladas de hidrógeno verde, según Euractiv[9]. Héctor Perea, experto de la Cátedra de Ciencia y Sociedad de la Fundación Rafael del Pino y ex director de estrategia de CEPSA, opina que, además de la inversión en infraestructura, es fundamental apostar por la investigación y el desarrollo. Una de las barreras que impiden la adopción de la electrólisis es la eficiencia del proceso químico: se necesita mucha energía para romper las moléculas de agua. Varios centros de investigación en España lideran proyectos europeos que buscan catalizadores que rebajen la barrera de activación de estos procesos, así como la manera de acoplarlos a fuentes de energía renovables para reducir el coste global de la reacción.

Además del hidrógeno verde y el hidrógeno gris, existen otros tipos de hidrógeno. El más conocido es el hidrógeno azul que, a pesar de que no se obtiene por electrólisis del agua, se considera más limpio que el hidrógeno gris porque se captura o se reutiliza todo el CO_2 generado durante la producción. Dado que el hidrógeno azul tiene un precio intermedio entre el gris y el verde[10], los expertos consideran que puede ser un paso intermedio en la transición hacia la economía del hidrógeno.



Oportunidades

Una Europa y una industria más verdes.

El hidrógeno verde presenta una serie de oportunidades muy relevantes en los sectores del transporte y la energía, de nuevo como “vector energético” y almacén de energías renovables intermitentes. Pero, además, resulta especialmente interesante para la industria química, un sector líder en España que podría reducir drásticamente sus emisiones de CO_2.

Según explica el experto de la Cátedra de Ciencia y Sociedad de la Fundación Rafael del Pino, Héctor Perea, las baterías actuales pueden llegar a triplicar el peso de una aeronave.

Por ejemplo, en septiembre de 2019 la ciudad francesa de Pau anunció su primera flota de autobuses de hidrógeno tras una inversión de 75 millones de euros[11]. Como combustible ‘verde’, presenta grandes ventajas frente a otras alternativas como los coches eléctricos, aunque requiere todavía desarrollar una infraestructura que puede ser costosa y avanzar en su sostenibilidad. En primer lugar, las celdas de combustible pueden almacenar energía suficiente para viajar durante casi 500 kilómetros sin repostar, frente a los 150-300 kilómetros de autonomía de los coches eléctricos. El repostaje también es más rápido, a pesar de los avances que permiten **c**argar el 80% de las baterías de un Tesla en media hora[12]. Repostar un coche de hidrógeno lleva apenas unos minutos, pero plantea otros problemas: en estos momentos sólo existen una decena de puntos de recarga en toda España[13]. Fabricantes como TOYOTA, en colaboración con la UE, lideran proyectos para desarrollar una infraestructura de puntos de recarga competitiva[14], además de ser pioneros en la fabricación de coches de hidrógeno desde 2014. El peso de las celdas de combustible también las hace una opción muy atractiva para el transporte de mercancías y la industria aeronáutica. Según explican los expertos de la Cátedra de Ciencia y Sociedad de la Fundación Rafael del Pino, las baterías pueden llegar a triplicar el peso de una aeronave. El hidrógeno, sin embargo, puede convertirse en una solución sostenible para

descarbonizar la aviación. De hecho, AIRBUS prevé tener varios modelos de aeronaves comerciales propulsadas con hidrógeno en 2035 dentro de su gama ZEROe[15]. Estos aviones tendrían un diseño similar a los convencionales, pero contarían con turbinas adaptadas para funcionar con hidrógeno, que se almacenará en tanques presurizados en la cola del aparato.

El hidrógeno también desempeñará un papel clave como "vector energético", una forma de almacenar energía para liberarla, después, de forma controlada. Uno de los mayores problemas de las energías renovables es que muchas de ellas, como la energía solar y la energía eólica, por ejemplo, son intermitentes. Es por esto que necesitamos desarrollar tecnologías que nos permitan almacenar los excedentes de producción para aquellos tramos en que la potencia generada disminuya. De nuevo, las baterías parecen una solución lógica al problema, pero plantean serias dificultades. Por ejemplo, según estimaciones de la Administración de Información sobre la Energía de los EE.UU. (EIA, por sus siglas en inglés), un hogar promedio necesitaría una batería de ión-litio de más de una tonelada para poder almacenar la energía necesaria para una semana[16]. Además, triplicaría el precio de la energía. Usar hidrógeno para el almacenamiento sería una solución mucho más razonable. A principios de año, la empresa danesa de energía renovable Ørsted anunció la creación de un parque eólico que producirá 1000 kilos de hidrógeno verde al día, gracias a una inversión de unos 5 millones de euros[17].

Las oportunidades para España son claras. En 2020, las renovables supusieron el 43,6% de toda la electricidad producida[18], lo que supone un crecimiento de más de diez puntos porcentuales con respecto a los niveles de hace diez años. Además, la energía renovable es cada vez más barata[19], aunque siguen a expensas del impacto de las políticas energéticas y de las estrategias comerciales en su precio, y la producción española podría duplicar las necesidades de consumo, según expertos de la Universidad Pública de Navarra[20]. Es una situación ideal para acoplar la generación de energía con la producción de hidrógeno para usarlo como combustible, como materia prima y como vector energético. Los expertos de la Cátedra de Ciencia y Sociedad de la Fundación Rafael del Pino creen que el potencial es enorme: en los próximos años, España podría situarse como líder y pionera de esta tecnología. Lo interesante es que los costes de producción mediante electrólisis son realmente competitivos en España. Gracias al peso reducido de los impuestos en las tarifas, puede fabricarse hidrógeno por una media de 3,5 euros/kg, muy por debajo del precio en países como Dinamarca (9,5 euros/kg) o Alemania (7,4 euros/kg). Asimismo, si se analizan los costos de producción de hidrógeno verde más bajos disponibles, considerando las condiciones promedio de viento y sol, España también goza de una buena posición de partida, con 4,3 euros/kg, un precio que sólo mejora Portugal con 3,5 euros/kg. De hecho, en su informe "Clean Hydrogen Monitor 2020", Hydrogen Europe resalta a nuestro país como ejemplo de las posibilidades que se abren para aumentar el factor de capacidad para el electrolizador si se combinan fuentes de energía renovables complementarias como la fotovoltaica y la eólica[21].

Los costes de producción mediante electrólisis son realmente competitivos en España. Puede fabricarse hidrógeno por 3,5 euros/kg.

Por último, resulta especialmente atractiva la utilización del hidrógeno verde como materia prima para una industria química más limpia y sostenible. En España, la industria química es un sector clave en nuestro tejido tecnológico e investigador. Según datos de FEIQUE, representa un 13,4% del PIB industrial, generando más de 650.000 empleos directos, indirectos e inducidos y contribuyendo a más del 25% de la inversión industrial en I+D+i[22]. Pero tiene que reinventarse para seguir produciendo e innovando al mismo tiempo que reduce las emisiones de gases de efecto invernadero. A finales de 2020, varios líderes de la industria española presentaron proyectos ambiciosos y vanguardistas en este sentido. Por un lado, Iberdrola y Fertiberia planean construir un complejo líder en Europa, que empezará a estar operativo este año y cubrirá el 20% del objetivo nacional en generación de hidrógeno verde en 2030

Fuente: Red Eléctrica Española.

FIGURA 5.1.

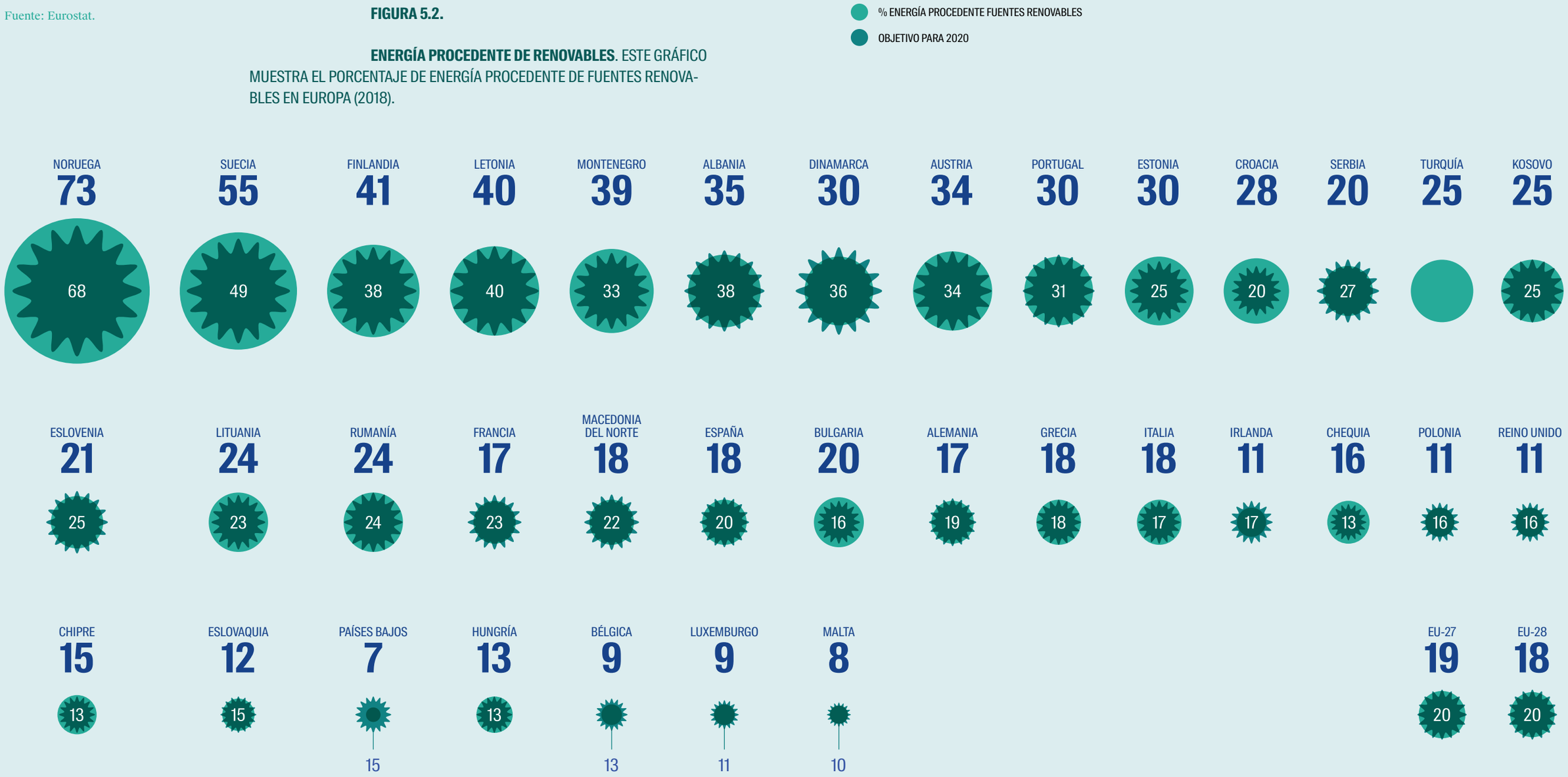
ENERGÍA PROCEDENTE DE RENOVABLES. ESTE GRÁFICO MUESTRA EL PORCENTAJE DE ENERGÍA PROCEDENTE DE FUENTES RENOVABLES EN ESPAÑA (ENTRE 2001 Y 2015). EL PRECIO Y LA ABUNDANCIA DE LAS RENOVABLES EN ESPAÑA PROPICIAN UNA SITUACIÓN ÚNICA PARA LIDERAR LA IMPLEMENTACIÓN DE LAS TECNOLOGÍAS BASADAS EN HIDRÓGENO.



Fuente: Eurostat.

FIGURA 5.2.

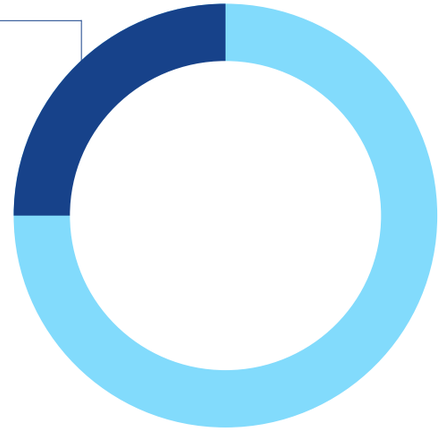
ENERGÍA PROCEDENTE DE RENOVABLES. ESTE GRÁFICO MUESTRA EL PORCENTAJE DE ENERGÍA PROCEDENTE DE FUENTES RENOVABLES EN EUROPA (2018).



creando más de 4000 puestos de trabajo[23]. Con una inversión de 1.800 millones de euros en siete años, este complejo utilizará el hidrógeno generado para la fabricación de amoniaco en Puertollano, Ciudad Real. A día de hoy, la fábrica de amoniaco de Fertiberia se encuentra entre las más eficientes de la UE y, además, gracias a la inversión en hidrógeno verde, se convertirá en una de las pioneras en la generación sostenible de amoníaco y fertilizantes. Las empresas petroquímicas también aprovecharán el hidrógeno verde para combinarlo químicamente con CO_2 y generar combustibles sintéticos. Al quemarse, estos combustibles generan el mismo dióxido de carbono utilizado en su fabricación; por tanto, este ciclo cerrado no constituye una emisión neta de gases de efecto invernadero. Petronor, filial de Repsol, ha anunciado una inversión de casi 70 millones de euros para desarrollar una planta pionera a nivel mundial para preparar combustibles sintéticos verdes en el puerto de Bilbao[24]. Recientemente, Petronor también anunció la creación del corredor vasco del hidrógeno, un proyecto que involucra a casi 60 empresas y contará con una inyección total de 1.300 millones de euros[25]. Por su parte, Enagás planea colaborar con otras 30 compañías europeas para reducir el precio del hidrógeno verde. La plataforma espera que en 2030, la producción de hidrógeno por electrólisis sea competitiva, llegando a precios inferiores a 1.5€ por kilogramo[26].

25%

DE HIDRÓGENO DE ORIGEN RENOVABLE EN EL CONSUMO INDUSTRIAL SE PLANTEA ALCANZAR EL GOBIERNO ESPAÑOL EN 2030.



El potencial de España

Energía abundante y barata para general hidrgógeno.

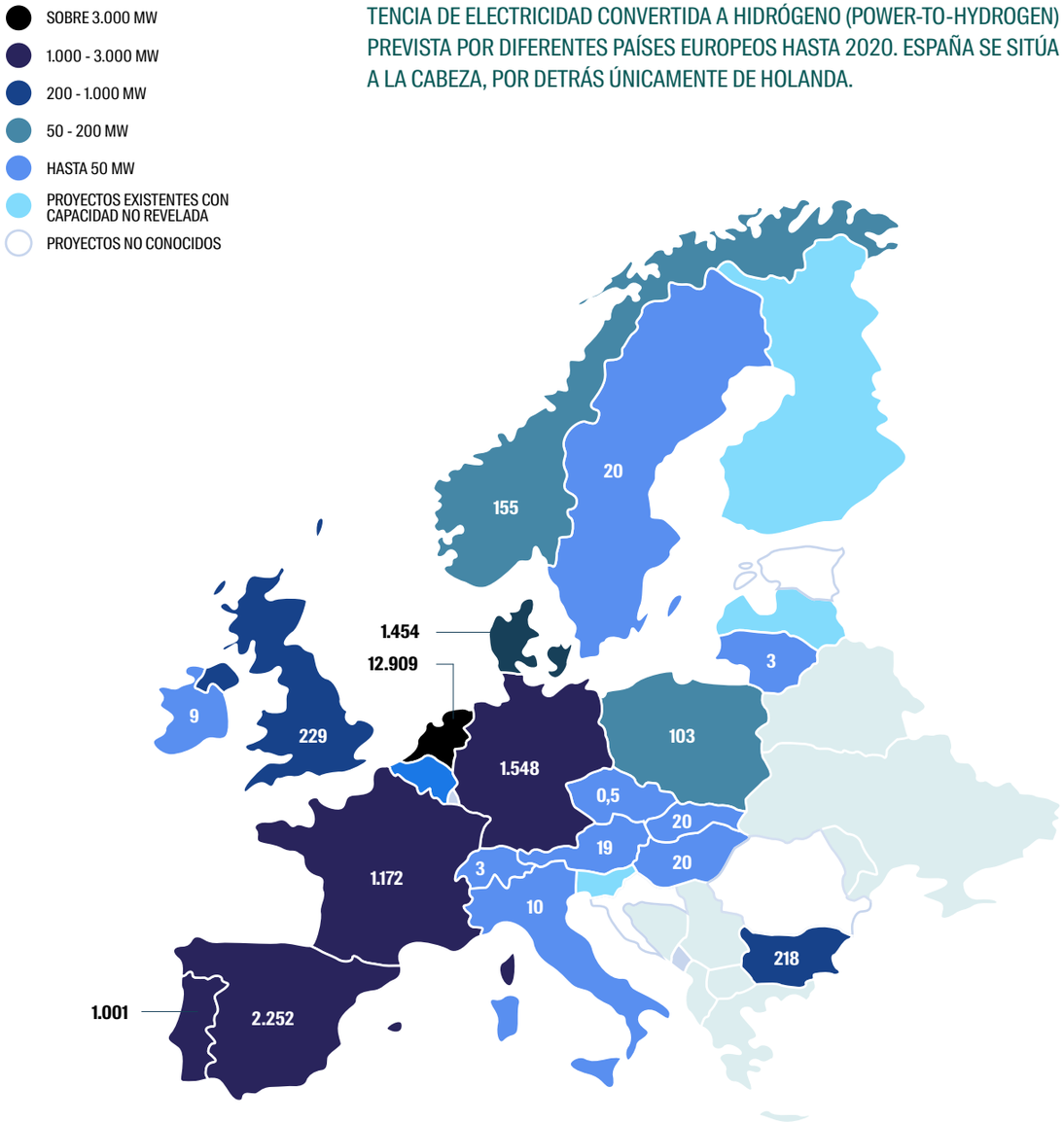
Introducir a España en la economía del hidrógeno, en particular en la del hidrógeno obtenido a partir de energías renovables, exigirá un esfuerzo equivalente a construir todo un edificio de cero. Dos terceras partes de las 500.000 toneladas que se consumen anualmente en nuestro país se produce en las refinerías de Huelva, Cartagena, Puertollano y Tarragona; y un 25% se utiliza en industrias químicas, fundamentalmente para síntesis de amoniaco. La cantidad de hidrógeno que se utiliza en otros sectores como el metalúrgico, el transporte o la energía es sencillamente residual. A pesar de eso, España se situaba en 2018 en el quinto lugar en Europa en demanda de hidrógeno, a mucha distancia del Alemania (22%), pero casi a la par del 7% de Bélgica, según Hydrogen Europe. Y, con la previsión de instalar 2.252 MW, ocupa el segundo puesto en número de proyectos de electrolizadores anunciados tras Holanda con 12.909 MW, pero por delante de Alemania (1.548 MW), Dinamarca (1.454 MW), Francia (1.172 MW) y Portugal (1.001 MW).

Haciendo de la necesidad virtud, es precisamente en la configuración del consumo de hidrógeno en nuestro país donde ve el Gobierno español un mar de oportunidades[27], si se afronta el potencial de descarbonización en la industria para el uso del hidrógeno renovable mediante la sustitución del uso de hidrógeno gris por alternativas más ecológicas. En su Hoja de Ruta del Hidrógeno, se plantean como objetivos estratégicos para 2030 alcanzar los 4 GW de potencia instalada de electrolizadores, una cuota del 25% de hidrógeno de origen renovable en el consumo industrial, instalar entre 100 y 150 hidrogeneras,

Fuente: Hydrogen Europe.

FIGURA 6.

POWER TO HYDROGEN. ESTE GRÁFICO MUESTRA LA POTENCIA DE ELECTRICIDAD CONVERTIDA A HIDRÓGENO (POWER-TO-HYDROGEN) PREVISTA POR DIFERENTES PAÍSES EUROPEOS HASTA 2020. ESPAÑA SE SITÚA A LA CABEZA, POR DETRÁS ÚNICAMENTE DE HOLANDA.



estaciones para repostar hidrógeno, de acceso público y disponer de una flota de entre 150 y 200 autobuses con celdas de hidrógeno a nivel nacional, así como trenes propulsados con hidrógeno en al menos dos líneas comerciales de media y larga distancia en vías actualmente no electrificadas, maquinaria que utilice pilas de combustible de hidrógeno renovable y de puntos de suministro en los cinco primeros puertos y aeropuertos. Dentro de este marco, Naturgy presentó un proyecto a principios de 2021 que proyecta la construcción de 38 hidrogeneras a nivel nacional antes de 2025[28]. En una segunda fase, la empresa planea ampliar sus instalaciones hasta 120 hidrogeneras, para seguir potenciando la movilidad sostenible y fomentar el uso del hidrógeno como combustible. Por su parte, el Gobierno de España ha respondido comprometiendo más de 1.500 millones de euros al impulso del hidrógeno verde mediante el Fondo Europeo de Recuperación. Gracias a sus recursos naturales y cadena de valor, España está en una posición clave para liderar el despliegue de la economía del hidrógeno, según el Ministerio para la Transición Ecológica[29].

Estos planteamientos dan por sentado un auténtico cambio de cultura en el sector empresarial, que de momento no da demasiadas señales de adaptación. Acciona y Enagás han comprado a Hydrogenics un electrolizador para producir 330 toneladas anuales de hidrógeno verde en Mallorca[30]. También han aparecido pymes de base tecnológica con propuestas atractivas, como la vasca H2Site, que cuenta con tres patentes sobre su tecnología para intensificar los procesos de generación de hidrógeno mediante el reactor de membranas, combinando las etapas de reacción y separación para pasar de un proceso de cuatro fases a una sola, con la consiguiente reducción de costes. Sus membranas pueden emplearse también en sistemas de purificación, no solo para generación, proporcionando así hidrógeno de alta calidad.

En España también se coordinan varios proyectos de investigación como H2PORTS, una colaboración entre la Autoridad Portuaria de Valencia, la Fundación Valenciaport, el Centro Nacional del Hidrógeno y varias empresas (MSC Termi-

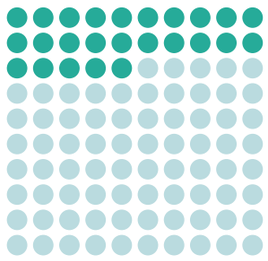
Fuente: Gobierno de España.

FIGURA 7.

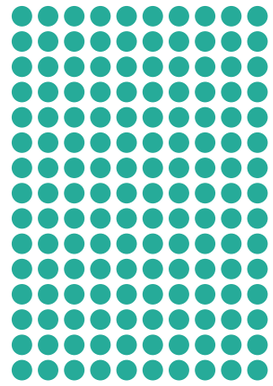
OBJETIVOS DEL GOBIERNO ESPAÑOL. EL MINISTERIO DE TRANSICIÓN ECOLÓGICA HA PRESENTADO UNA HOJA DE RUTA DEL HIDRÓGENO QUE PLANEA LA CREACIÓN DE HASTA 150 HIDROGENERAS, 2 LÍNEAS COMERCIALES DE TRENES IMPULSADAS POR HIDRÓGENO Y UNA REDUCCIÓN DE LAS EMISIONES DE DIÓXIDO DE CARBONO DE 4,6 MILLONES DE TONELADAS.



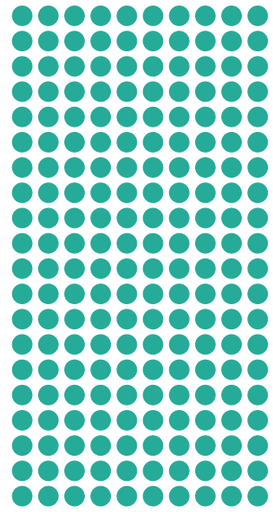
2 LÍNEAS
COMERCIALES TRENES CON H_2



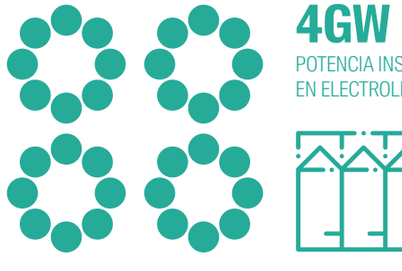
25%
CONSUMO HIDRÓGENO EN LA INDUSTRIA



100-150
HIDROGENERAS ACCESO PÚBLICO



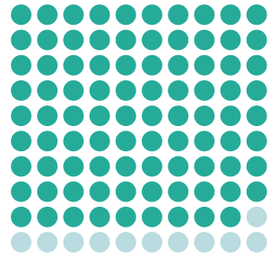
150-200
AUTOBUSES FCEV



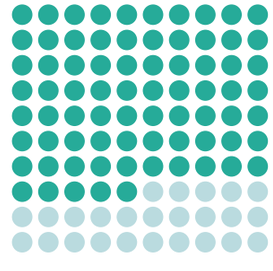
4GW
POTENCIA INSTALADA EN ELECTROLIZADORES



4,6 Mton
DE CO_2eq REDUCIDAS



8.900 M€
PARA PROYECTOS DE HIDRÓGENO RENOVABLE



5.000-7.500
VEHÍCULOS LIGEROS Y PESADOS PARA TRANSPORTE DE FCEV

nal Valencia, Grupo Grimaldi, Hyster-Yale, Atena, Ballard Power Systems Europa y Enagás). Financiados por la Unión Europea, en H2SPORTS analizan la adaptación de una grúa telescópica y una cabeza de camión para que funcionen con hidrógeno como combustible. Además, diseñan una logística de suministro de hidrógeno en el puerto, incluyendo la instalación de una nueva hidrogenera. En otro proyecto europeo, HIGGS, la Fundación Hidrógeno de Aragón, Redexis, Tecnalia, DVGW (Alemania), HSR (Suiza) y ERIG (Bélgica) estudian la descarbonización de la red de gas y su utilización. Y empresas como Enagás y Repsol trabajan en el proyecto SUN2HY, que desarrollará tecnología en fase pre-comercial para transformar energía solar en hidrógeno[31].

España está posicionada en dos proyectos clave de despliegue de infraestructuras: Green Spider y Blue Dolphin.

En cuanto al despliegue de infraestructuras, España está posicionada en dos proyectos clave: Green Spider conectará nuestro país (productor de hidrógeno verde) con centros industriales del Norte de Europa vía Francia y Alemania[32]. Si se implementa según lo planeado, proporcionará 1 GW adicional de capacidad de electrolizador, almacenamiento de hidrógeno, 20 estaciones de repostaje de hidrógeno y 800 km de infraestructura de transporte adicionales. Además, planea desplegar una flota de vehículos con pila de combustible de hidrógeno. Por otro lado, Blue Dolphin es un proyecto marítimo en el que participan empresas de Italia, España, Holanda, Bélgica y Alemania, para adaptar cuatro puertos y dos astilleros al uso de hidrógeno[33]. Espera desarrollar 0.6 GW de capacidad de electrolizador y seis cisternas, 10 buques de pasaje y 30 barcazas.

Más allá de estos proyectos, las empresas españolas también están investigando otras tecnologías que permiten producir hidrógeno verde sin necesidad de utilizar electricidad producida en granjas solares y eólicas. Esto es posible gracias a una tecnología llamada “fotoelectrólisis”. A diferencia de la electrólisis convencional, donde la generación de energía y la producción del hidrógeno ocurren de manera separada, la fotoelectrólisis requiere un único reactor[34]. Estos sistemas utilizan materiales fotoactivos como los óxidos de hierro, titanio y wolframio, capaces de absorber la radiación solar y convertirla en una corriente eléctrica que descompone el agua en sus elementos. Esta es otra de las apuestas de Repsol[35], en colaboración con Enagás, el IREC, la Fundación Hidrógeno de Aragón y la Universidad de Alicante. La electricidad supone un 75% del gasto para generar hidrógeno verde, argumentan los expertos de Repsol. Invirtiendo en fotoelectrólisis podría obtenerse hidrógeno a precios realmente competitivos y un gasto energético radicalmente menor.

Retos

Transportar y almacenar hidrógeno.

Además de su elevado coste, las tecnologías basadas en hidrógeno todavía plantean varios retos. Entre ellos está el almacenamiento del hidrógeno, un gas explosivo que requiere soluciones tecnológicas seguras y duraderas[36]. Muchos proyectos plantean el uso del hidrógeno en lugares cercanos a su producción. Inicialmente, se cubrirá la demanda de hidrógeno a partir de fuentes renovables locales, en agrupaciones industriales y áreas costeras a través de conexiones ya existentes entre la producción y la demanda. Si queremos completar la transición energética tendremos que encontrar soluciones viables para transportar este gas a grandes distancias[37]. Una de las propuestas más atractivas pasa por reutilizar la red de gasoductos diseñada para distribuir gas natural. Los expertos creen que es una solución más que razonable que, al mismo tiempo, supondría un ahorro tremendo en el desarrollo de nuevas infraestructuras[38]. Aun así, Hydrogen Europe estima que será necesario convertir 50.000 kilómetros de gasoductos de gas natural. Junto a esto, se necesitarán unos 5.000 kilómetros de nuevos oleoductos que transporten hidrógeno a África, Grecia, Italia, y la península ibérica. De ahí que los esfuerzos en mejora de eficiencia en el transporte, sea una de las cuestiones clave para Bruselas. Se estima que actualizar las infraestructuras de transporte, distribución y almacenamiento requerirá también inversiones de hasta 65.000 millones de euros.

También hay sectores críticos con esta tecnología. Por un lado, hay expertos que creen que el hidrógeno está muy lejos de ser una panacea energética, sobre todo por los problemas de transporte y almacenamiento que plantea[39]. Es muy complicado desarrollar todo el entramado necesario antes de las fechas marcadas por el Acuerdo de París para alcanzar una economía sin emisiones[40]. Asimismo, varias organizaciones independientes han advertido que la UE ha recibido grandes presiones de la industria petroquímica para apoyar una estrategia del hidrógeno sesgada y que garantiza la financiación de la generación de hidrógeno gris y azul. Un estudio liderado por el Observatorio Corporativo Europeo estima que las petroleras gastaron casi 60 millones de euros en un año para influir las políticas de Bruselas, y defiende que la UE debería buscar un plan mejor para abandonar los combustibles fósiles y garantizar un futuro sostenible[41].

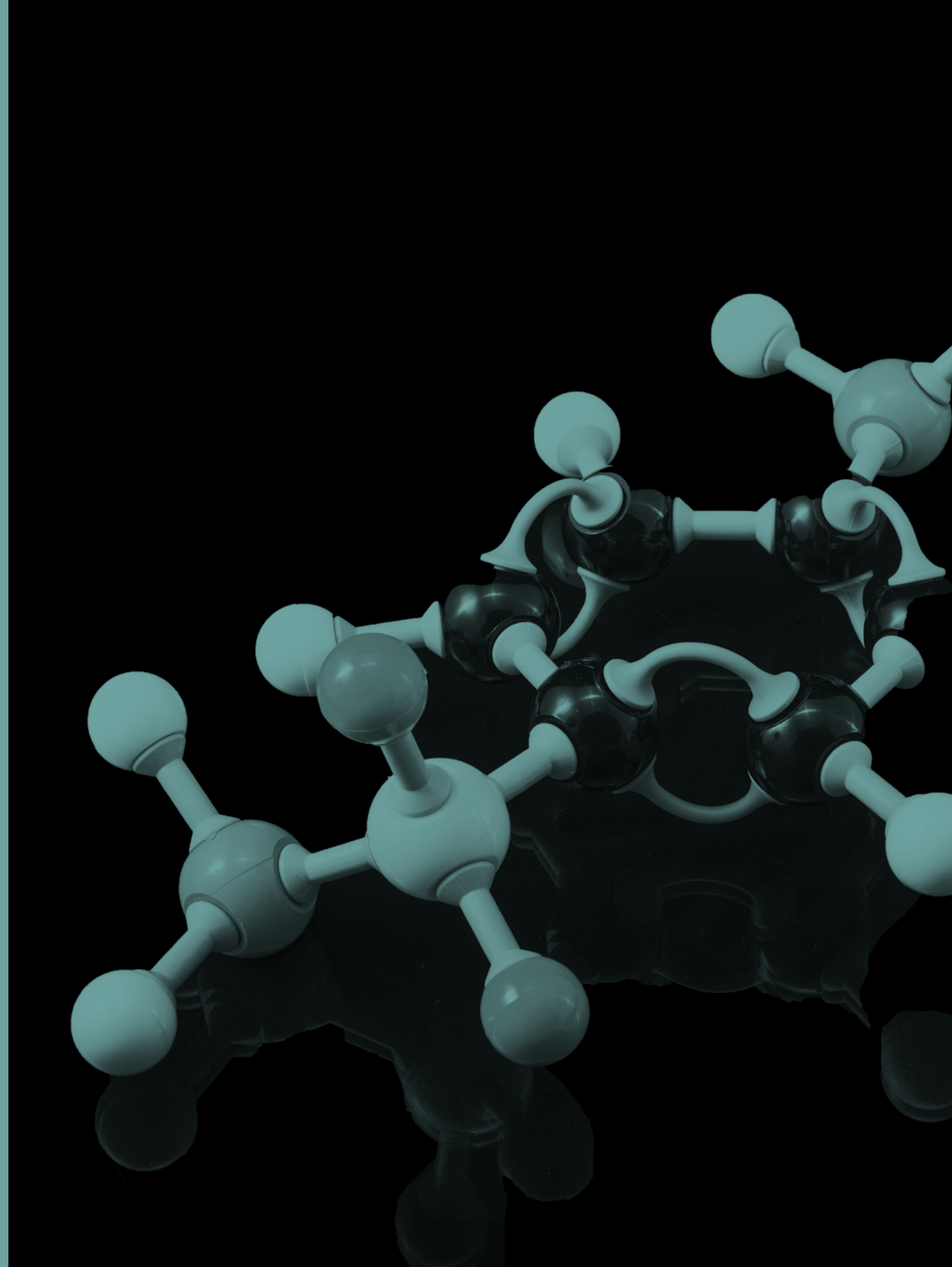
Además, los planes de la UE requerirán una gran inversión. Se estima que, para alcanzar los objetivos de hidrógeno verde, las inversiones en electrolizadores podrían oscilar entre 24.000 y 42.000 millones de euros antes de 2030. Durante el mismo período, se necesitarán asimismo entre 220 y 340.000 millones de euros para ampliar y conectar directamente 80-120 GW de capacidad de producción de energía solar y eólica a los electrolizadores. Y las inversiones para modernizar la mitad de las plantas existentes con captura y almacenamiento de carbono se estiman en unos 11.000 millones de euros.

Javier García Martínez

Conclusiones

Un futuro más verde.

España puede liderar la transición europea hacia la economía del hidrógeno. Nuestra posición como líderes en el mercado de las renovables garantiza que podremos fabricar hidrógeno verde en grandes cantidades y a precios muy competitivos. Además, varias instituciones españolas lideran proyectos internacionales para diseñar nuevas tecnologías de producción de hidrógeno y adaptar instalaciones e infraestructuras para un futuro más sostenible. Las propuestas más interesantes van más allá de su uso como "vector energético". Varios proyectos de empresas líderes como Repsol, Iberdrola y Fertiberia plantean la generación de hidrógeno verde para utilizarlo directamente en la industria química, generando productos de alto valor añadido y reduciendo al mínimo las emisiones de gases de efecto invernadero de uno de los sectores más contaminantes. Algunas de estas propuestas verán la luz este mismo año, demostrando el compromiso de la industria española por las tecnologías emergentes y los objetivos europeos de neutralidad climática.



1. Hackett, P. **“Europe’s hydrogen revolution: the promise of power without pollution.”** Euronews, 23 de abril de 2020. Consultado el 13 de febrero de 2021.

2. Fickling, D. **“Hydrogen Is a Trillion Dollar Bet on the Future.”** Bloomberg, 2 de diciembre de 2020. Consultado el 14 de febrero de 2021.

3. US Environmental Protection Agency (n.d.). **“Climate Change Indicators: Greenhouse Gases”.** Consultado el 20 de febrero de 2021.

4. Comisión Europea (n.d.). **“2050 long-term strategy.”** Consultado el 20 de febrero de 2021.

5. Soto, J.L. **“¿Cómo se obtiene el hidrógeno? El futuro del coche de pila, a examen.”** El Economista, 22 de diciembre de 2014. Consultado el 13 de febrero de 2021.

6. International Energy Agency (n.d.). **“Hydrogen.”** Consultado el 14 de febrero de 2021.

7. Calise, F. et al. (2019). “**Solar Hydrogen Production”.** Londres, Academic Press-Elsevier.

8. Amelang, S. **“Europe vies with China for clean hydrogen superpower status.”** Clean Energy Wire, 24 de julio de 2020. Consultado el 15 de febrero de 2021.

9. Janssen, D. **“Europe, China battle for global supremacy on electrolyser manufacturing.”** Euractiv, 28 de agosto de 2020. Consultado el 15 de febrero de 2021.

10. IRENA (2020). **“Green hydrogen cost reduction.”** Consultado el 21 de febrero de 2021.

11. FuelCellsWorks (2019). “**France: City of Pau unveils its first of eight hydrogen fuel cell buses.”** Consultado el 14 de febrero de 2021.

12. Tesla (n.d.). **“Supercharger.”** Consultado el 20 de febrero de 2021.

13. Alós-Yus, V. **“¿Cuánto cuesta de verdad repostar y cuánto consume un coche de hidrógeno?”** Highmotor, 10 de octubre de 2020. Consultado el 20 de febrero de 2021.

14. Toyota (n.d.). **“Hydrogen for all – a fuel for the future.”** Consultado el 13 de febrero de 2021.

15. Airbus (2020). “**Airbus reveals new zero-emission concept aircraft.”** Consultado el 18 de febrero de 2021.

16. Gates, B. **“It is surprisingly hard to store energy.”** GatesNotes, 22 de febrero de 2016. Consultado el 17 de febrero de 2021.

17. Ørsted (2021). **“Ørsted takes final investment decision on first renewable hydrogen project.”** Consultado el 12 de febrero de 2021.

18. Noceda, M.A. **“Las energías renovables alcanzarán este año el 43,6% de electricidad producida en España frente al 37,5% de 2019.”** El País, 17 de diciembre de 2020. Consultado el 15 de febrero de 2021.

19. Roca, J.A. **“Los costes de las renovables se desploman en 2020: la energía solar y la eólica terrestre son las fuentes más baratas en casi todo el mundo.”** El periódico de la energía, 29 de abril de 2020. Consultado el 19 de febrero de 2021.

20. Samanes, J. y Miqueleiz, J.P. **“El potencial renovable de España, limitado por las creencias erróneas.”** The Conversation, 8 de diciembre de 2019. Consultado el 19 de febrero de 2021.

21. Hydrogen Europe (2020). **“Clean Hydrogen Monitor.”** Consultado el 15 de febrero de 2021.

22. FEIQUE (2018). **“Informe de RSE y sostenibilidad del sector químico español.”** Consultado el 21 de febrero de 2021.

23. Iberdrola (2020). **“Iberdrola y Fertiberia sitúan a España a la vanguardia del hidrógeno verde en Europa: proyectan 800 MW, con una inversión de 1.800 millones hasta 2027.”** Consultado el 21 de febrero de 2021.

24. Europa Press (2020). **“Imaz pone la planta de hidrógeno verde de Petronor como ejemplo “pionero tecnológicamente a nivel mundial.”** Consultado el 21 de febrero de 2021.

25. Fuentes, M. **“Petronor implica a 58 empresas y una inversión de 1.300 millones en el corredor del hidrógeno.”** Expansión, 22 de febrero de 2021. Consultado el 1 de marzo de 2021.

26. Enagás (2021). **“30 compañías europeas impulsan una cadena de valor integrada para distribuir hidrógeno verde a precio competitivo.”** Consultado el 1 de marzo de 2021.

27. Ministerio para la Transición Ecológica – Gobierno de España (2020). **“Hoja de ruta del hidrógeno renovable.”** Consultado el 14 de febrero de 2021.

28. El País (2021). **“Naturgy plantea construir 38 ‘hidrogeneras’ en España antes de 2025.”** Consultado el 21 de febrero de 2021.

29. Ministerio para la Transición Ecológica – Gobierno de España (2020). **“El Gobierno destinará más de 1.500 millones al impulso del hidrógeno renovable hasta 2023 a través del Fondo Europeo de Recuperaciónicono barra herramientas.”** Consultado el 1 de marzo de 2021.

30. Acciona (2020). **“ACCIONA y Enagás lanzan su planta industrial de hidrógeno verde en Mallorca.”** Consultado el 16 de febrero de 2021.

31. Enagás (2018). **“Repsol y Enagás desarrollarán una tecnología para producir hidrógeno renovable.”** Consultado el 21 de febrero de 2021.

32. Hydrogen for Climate Action (2019). “**Green Spider.”** Consultado el 16 de febrero de 2021.

33. Hydrogen for Climate Action (2019). **“Blue Dolphin.”** Consultado el 16 de febrero de 2021.

34. Universidad de Chile (2020). **“Hidrógeno super verde: Los nuevos materiales que permitirían producir el combustible del futuro de manera aún más barata y limpia.”** Consultado el 21 de diciembre de 2021.

35. Cinco Días (2020). **“Repsol desarrolla una tecnología para producir hidrógeno renovable a partir de energía solar.”** Consultado el 21 de febrero de 2021.

36. Giménez Zuriaga, I. **“La oportunidad de la economía del hidrógeno.”** Cinco Días, 19 de octubre de 2020. Consultado el 16 de febrero de 2021.

37. Hydrogen Europe (2017). **“Hydrogen Transport & Distribution.”** Consultado el 19 de febrero de 2021.

38. Findlay, C. **“What’s your purpose? Reusing gas infrastructure for hydrogen transportation.”** Siemens Energy, 11 de septiembre de 2020. Consultado el 16 de febrero de 2021.

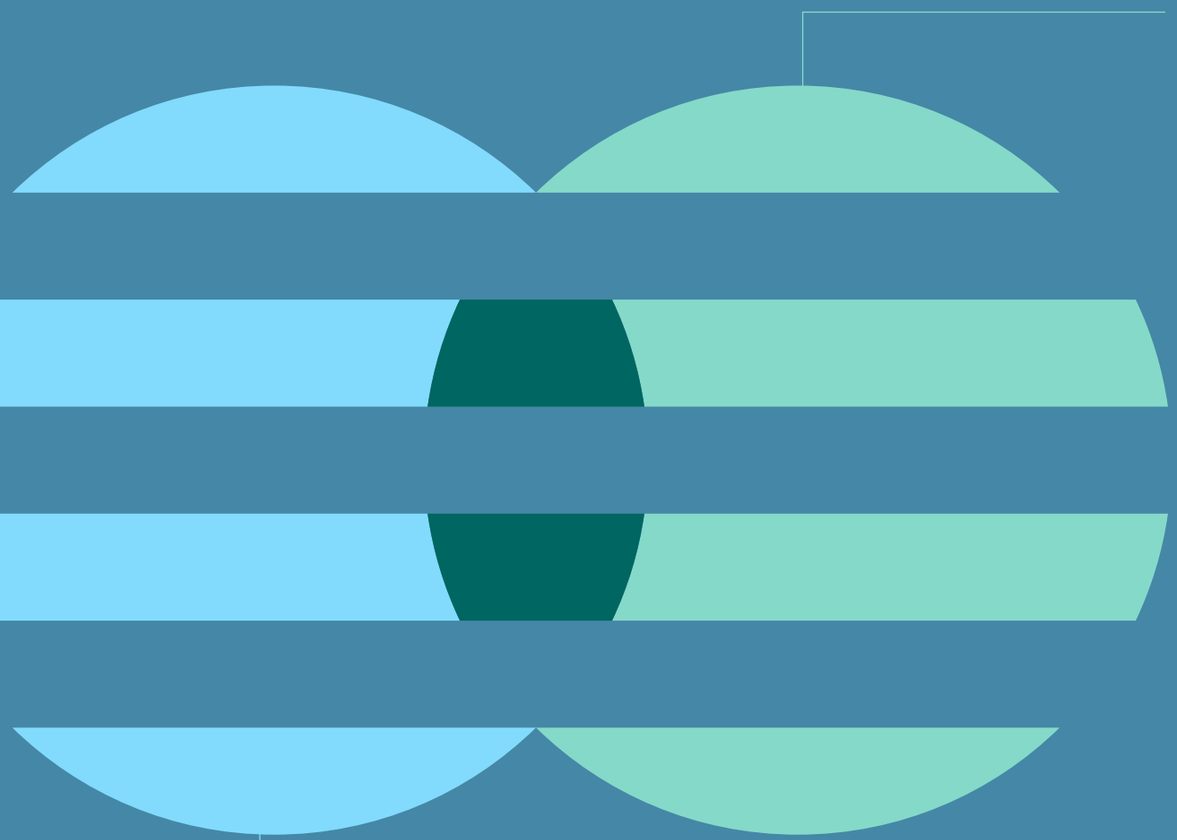
39. Whitehead, J. et al. **“Time to get real: amid the hydrogen hype, let’s talk about what will actually work.”** The Conversation, 31 de agosto de 2020. Consultado el 20 de febrero de 2021.

40. ONU (2015). **“Acuerdo de París.”** Consultado el 20 de febrero de 2021.

41. Corporate Europe Observatory (2020). **“The hydrogen hype: Gas industry fairy tale or climate horror story?”** Consultado el 17 de febrero de 2021.

04.
Neurociencias

El cerebro, la última frontera.



/ Prevención
/ Diagnóstico
/ Integración social
/ Equidad
/ Lucha contra enfermedades mentales
/ Revolución educativa

/ Monitorización cerebral
/ Deslocalización
/ Rendimiento laboral
/ Marketing de las emociones

En clave

La neurociencia estudia el sistema nervioso, desde las moléculas que utilizan las neuronas para comunicarse, hasta comportamientos complejos como la conducta. Estos fenómenos no sólo ocupan a los científicos, sino también a las grandes empresas, interesadas en descifrar los secretos detrás de nuestras preferencias, nuestras decisiones y nuestros impulsos. Algunos avances en neurociencias son realmente espectaculares: permiten recuperar el habla, la motricidad, los sentidos; y nos ayudarán a comprender las enfermedades neurodegenerativas para mejorar nuestra calidad de vida, especialmente en nuestros últimos años.

La tecnología

De las neuronas de Cajal a las interfaces neuronales.

En 1906, Santiago Ramón y Cajal recibió el premio Nobel en reconocimiento a sus trabajos sobre la estructura del sistema nervioso[1]. En concreto, Cajal observó que los tejidos cerebrales están compuestos por células individuales, y desarrolló una nueva teoría conocida como la "doctrina de la neurona", un tratado que sentó las bases de la neurociencia moderna[2].

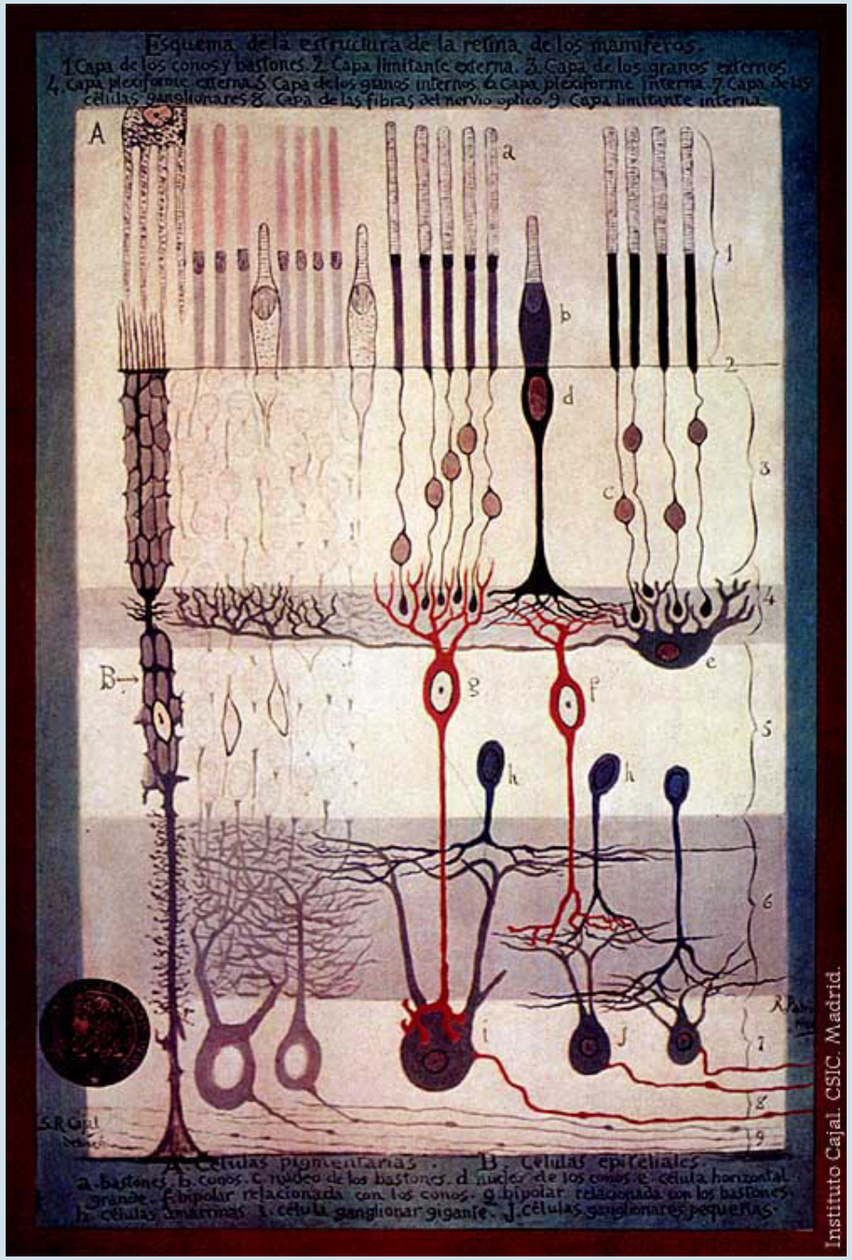
Desde entonces, nuestro conocimiento sobre el cerebro y el sistema nervioso ha avanzado muchísimo. Hemos desarrollado nuevas tecnologías que nos permiten observar, en directo, la comunicación entre neuronas, incluso reconstruir pensamientos gracias a la utilización de *big data* y modelos matemáticos[3]. Sin embargo, todavía queda mucho por descubrir. Se desconocen las bases moleculares de la conducta y del pensamiento. Todavía no comprendemos completamente los factores que afectan al desarrollo del cerebro y las enfermedades neurodegenerativas como la demencia, el párkinson o el Alzhéimer son cada vez más frecuentes debido al aumento en nuestra esperanza de vida[4].

Por suerte, muchos expertos vislumbran una revolución. Los avances en neurociencias y neurotecnología nos llevarán a revelar estos misterios y transformarán la sociedad en la que vivimos gracias a implantes avanzados, redes neuronales y tratamientos personalizados para tener un cerebro más sano. Estamos en el siglo de las neurociencias[5]. Ahora es el momento de apostar por las nuevas tecnologías y desarrollar un entramado de investigación y desarrollo tecnológico que garantice diagnósticos menos invasivos y tratamientos más eficaces.

Fuente: Wikimedia Commons / Dominio público.

FIGURA 1.

LA DOCTRINA DE LA NEURONA. EN ESTA FIGURA, SANTIAGO RAMÓN Y CAJAL REPRESENTA DE MANERA ESQUEMÁTICA SUS OBSERVACIONES SOBRE LA RETINA DE LOS MAMÍFEROS. ENTRE OTRAS COSAS, SE OBSERVAN EN ROJO LAS NEURONAS, LAS CÉLULAS INDIVIDUALES QUE, SEGÚN CAJAL POSTULABA, SE INTERCONECTAN Y COMUNICAN PARA FORMAR NUESTRO SISTEMA NERVIOSO. LOS DETRACTORES DE ESTA TEORÍA MANTENÍAN QUE ERA IMPOSIBLE REDUCIR LA COMPLEJIDAD DEL CEREBRO A CÉLULAS DISCRETAS.



Instituto Cajal. CSIC. Madrid.

Los avances en neurociencia han llegado de la mano de cuatro desarrollos científicos y tecnológicos fundamentales[6]. En primer lugar, destacan las técnicas de neuroimagen, como la tomografía computerizada, la resonancia magnética y la tomografía por emisión de positrones. En la época de Cajal, casi todos los conocimientos provenían de análisis post mortem, era imposible acceder al cerebro de los pacientes mientras todavía vivían. En cambio, las técnicas de imagen nos permiten ver a nuestras neuronas en acción, observar los cambios y los procesos detrás de las diferentes funciones mentales y detectar problemas relacionados con enfermedades mentales, como la depresión[7]. Otras soluciones de neuroimagen utilizan los últimos avances en fotónica para estudiar de forma detallada los daños causados por afecciones graves como los derrames cerebrales, los traumatismos craneoencefálicos y los ataques epilépticos. Estas novedosas técnicas no invasivas están basadas en la generación de luz infrarroja, que permite detectar parámetros fisiológicos como la dinámica de la sangre, inaccesibles a otras técnicas, para complementar nuestras herramientas de diagnóstico y controlar mejor el progreso de los pacientes[8]. Otra tecnología que ha permitido grandes avances en neurociencia es la estimulación cerebral profunda, basada en la implantación de electrodos mediante cirugía para estimular de forma selectiva diferentes grupos de neuronas. Los científicos han demostrado la eficacia de esta tecnología para mejorar a pacientes con párkinson, trastorno obsesivo-compulsivo, epilepsia y depresión.

Uno de los mayores logros de los implantes llegó en 2018, cuando varios investigadores suizos consiguieron que un paciente paralítico volviera a caminar. Aunque esta tecnología todavía no está lista para utilizarse a gran escala, ha demostrado el suficiente potencial como para atraer el interés de inversores y promover la creación de nuevas empresas spin-off que seguirán desarrollándola[9]. En este sentido, también destaca la start-up española INBRAIN Neurolectronics, con sede en Barcelona, que a finales de marzo cerró una ronda de financiación de más de 14 millones de euros[10]. INBRAIN utiliza grafeno para fabricar sus mallas de electrodos, lo que permite una tecnología que es más sensible y más sofisticada, pero al



mismo tiempo menos invasiva que los implantes tradicionales. La interfaz neuronal de INBRAIN permite detectar y tratar los síntomas de enfermedades como el Parkinson y la epilepsia, así como identificar de manera muy precisa zonas tumorales, mejorando las expectativas de los pacientes de cáncer que requieren una intervención quirúrgica[11]. En esta misma línea se sitúan los dos avances restantes: los implantes que restauran los sentidos, como el oído o la vista, y los sensores de ondas cerebrales, que permiten mapear la actividad cerebral sin cirugía. Los implantes más conocidos son, seguramente, los cocleares, que permiten que las personas sordas vuelvan a escuchar[12]. Pero la biónica y la neurotecnología avanzan a pasos agigantados, y los implantes se vuelven cada vez más sofisticados. Por ejemplo, un sistema desarrollado por la Universidad de Florida permitió que un paciente con degeneración ocular recuperara la visión en 2017[13], casi al mismo tiempo que unos investigadores suizos en la Escuela Politécnica Federal de Lausana presentaron una prótesis biónica que permitió que un paciente amputado recuperara la sensibilidad a diferentes texturas[14]. En el campo de los sensores no invasivos destaca la *start-up* zaragozana Bitbrain, que desarrolla soluciones innovadoras para la detección de ondas cerebrales que permiten, entre otras cosas, mejorar capacidades cognitivas como la memoria, la atención y la agilidad mental[15].

El avance de la neurociencia también estará determinado por la comprensión de los mecanismos moleculares que están detrás del desarrollo, la conducta y las enfermedades neurodegenerativas. En este campo, resultan especialmente fascinantes las relaciones entre la microbiota intestinal y la actividad cerebral[16]. Las bacterias que viven en nuestro sistema digestivo generan cientos de metabolitos que pueden viajar al cerebro y modificar nuestro comportamiento, e incluso podrían estar relacionados con el avance de algunas enfermedades como el párkinson[17]. Esto demuestra que la colaboración y la interdisciplinariedad son fundamentales para la aceleración de los descubrimientos. La neurociencia ya no estudia solamente el sistema nervioso, también necesita comprender las interacciones bioquímicas con el resto del cuerpo y descifrar las alteraciones genéticas que están detrás de las enfermedades

neurodegenerativas. Actualmente, a pesar de los grandes avances en este campo, se desconocen los mecanismos genéticos y moleculares que intervienen en la pérdida y degeneración de células cerebrales, un síntoma característico del *Alzheimer,* el párkinson y la enfermedad de Huntington[18]. Estas enfermedades son una de las primeras causas de muerte en Europa, y las previsiones son menos alentadoras conforme se alarga nuestra esperanza de vida y envejece nuestra población. Trabajando juntos, los científicos podrían llegar a comprender los entresijos bioquímicos detrás de las enfermedades neurológicas, identificar nuevas dianas terapéuticas y medicamentos y desarrollar nuevas terapias que permitan reparar las células dañadas, o incluso recuperar las perdidas[19].

Fuente: Bitbrain

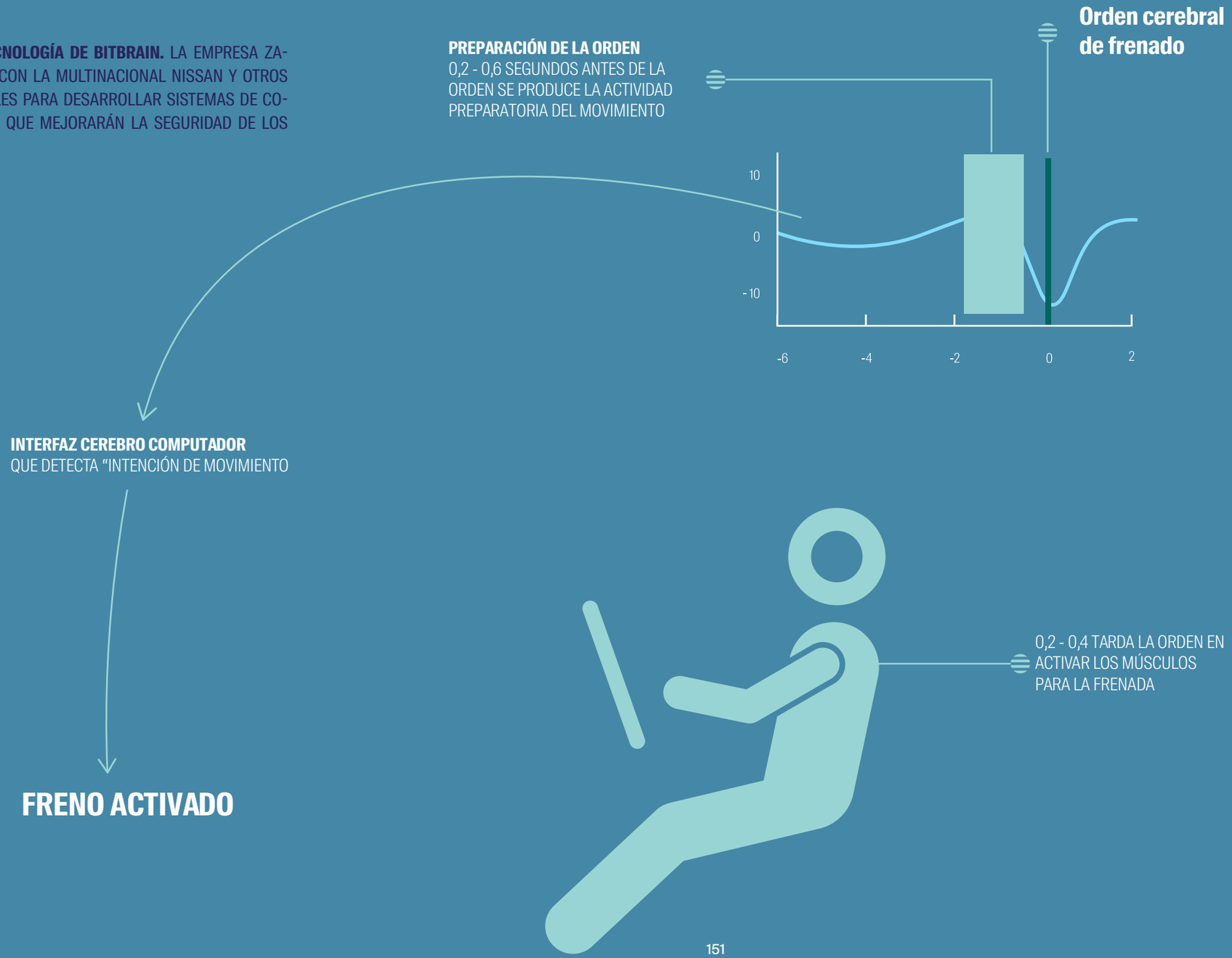
FIGURA 2.

LA NEUROTECNOLOGÍA DE BITBRAIN. LA EMPRESA ZARAGOZANA BITBRAIN COLABORA CON LA MULTINACIONAL NISSAN Y OTROS INVESTIGADORES INTERNACIONALES PARA DESARROLLAR SISTEMAS DE COMUNICACIÓN CEREBRO-VEHÍCULO QUE MEJORARÁN LA SEGURIDAD DE LOS COCHES DEL FUTURO.

BRAIN TO VEHICLE
IN A BREAKING SOLUTION

GRACIAS A LA TECNOLOGÍA BRAIN 2 VEHICLE (B2V) SE CONSIGUE UNA ACTIVACIÓN DEL PEDAL ENTRE 0,4 Y 1 SEGUNDO ANTES DE LO QUE TARDA LA MUSCULATURA EN EJECUTAR EL MOVIMIENTO ORDENADO POR EL CEREBRO.

ESTO SUPONE, A 100 KM/H, AHORRARSE 27 METROS DE FRENADA: LA DIFERENCIA ENTRE LA VIDA O LA MUERTE EN UNA COLISIÓN FRONTAL





Oportunidades

Una apuesta europea por la investigación y la transferencia de tecnología.

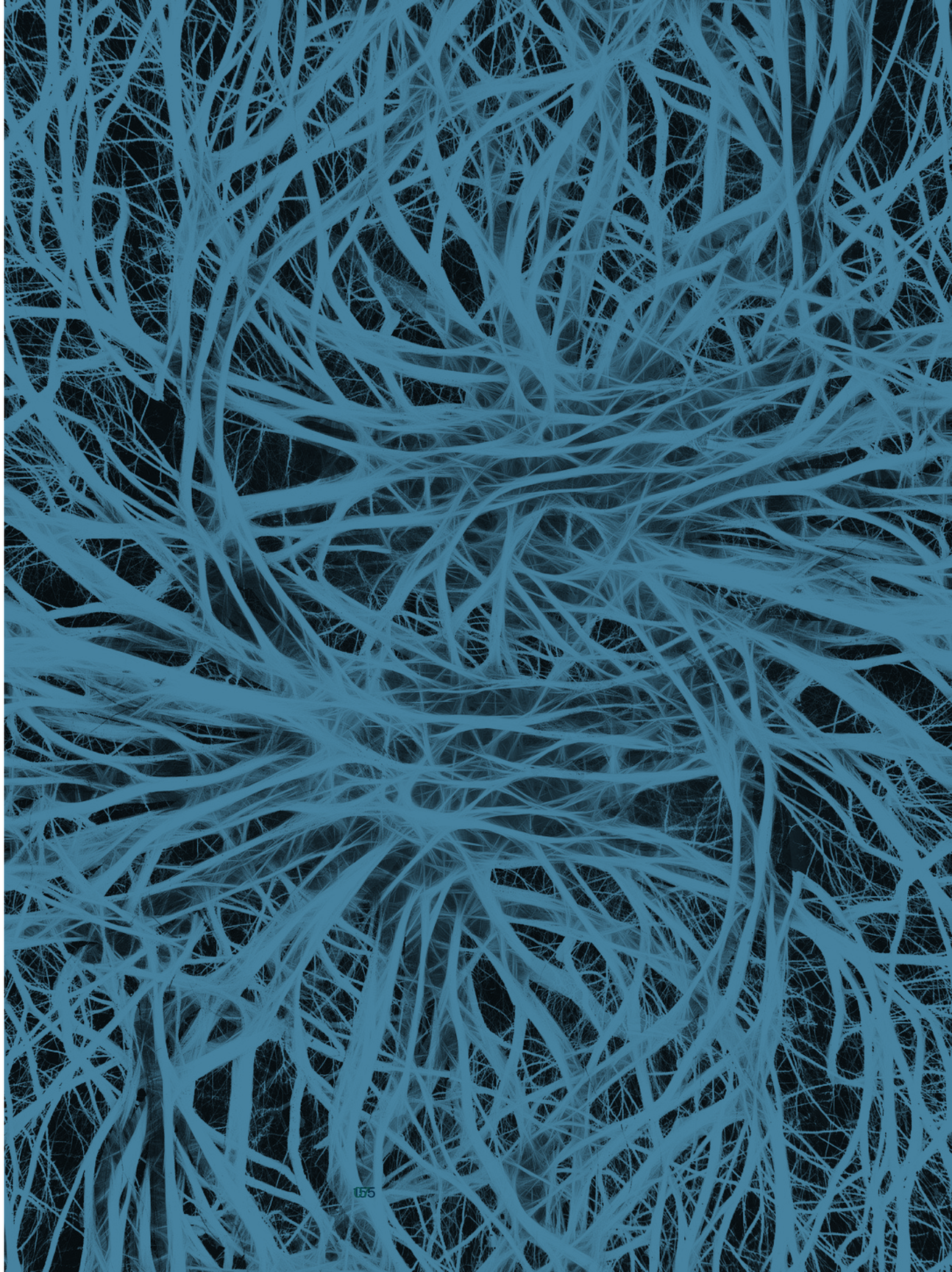
A finales de la década de 1990 se creó la Plataforma Industrial Europea de Neurociencia (ENIP). Más tarde, en 2013, la Unión Europea puso en marcha el Human Brain Project (HBP), que cuenta con más de 500 científicos de 131 instituciones europeas asociadas de 19 Estados miembros y, todavía hoy, es uno de los proyectos más grandes jamás financiados por la Comisión[20]. Pero hubo que esperar a finales de 2019 para que se articulara EBRAINS, un mecanismo de transferencia de tecnología para que los resultados de esta investigación lleguen al mercado[21]. Esta iniciativa integra diferentes plataformas del HBP orientadas a la neuroinformática, la simulación cerebral, el análisis y la informática de alto rendimiento, la informática médica, la informática inspirada en el cerebro y la vinculación de cerebros simulados con cuerpos robóticos. Debe haber un cambio de las capacidades impulsadas por el proveedor a las impulsadas por el usuario, según afirma de forma elocuente la propia entidad.

En cierto modo, esto significa reconocer que en las últimas tres décadas Europa ha focalizado sus esfuerzos en la comprensión del cerebro desde la perspectiva de la ciencia básica y la investigación de excelencia, pero ha tardado en volcarse en sus aplicaciones para la economía y la sociedad. Hasta el punto de que el Consejo Europeo del Cerebro (EBC, por sus siglas en inglés), heredero de la ENIP, se dirigió a la Comisión Europea después de leer el borrador del primer programa de trabajo del clúster de salud de Horizonte Europa 2021-2022[22]. Reclamaba más atención al cerebro en el reparto de nuevos fondos[23]. La carta abierta del EBC contó con la adhesión de varias organizaciones de neurociencia y neurología nacionales, incluidas las de Croacia, Bélgica, Francia, Alemania, Grecia, Portugal, Serbia y España, que enviaron en sus respectivos idiomas cartas a los ministros correspondientes y a los principales eurodiputados que trabajan en las áreas de Ciencia y Salud en Bruselas.

Otros países, como EE. UU., no dudan en ir más allá de la salud y vinculan el control de las tecnologías inteligentes que imitan los mecanismos del cerebro a la seguridad nacional. El informe final de la Comisión Nacional de Seguridad en Inteligencia Artificial, presidida por el ex-CEO de Google Eric Schmidt,

clarifica el poder que puede adquirir la neurociencia aplicada a la inteligencia artificial, especialmente las redes neuronales y el aprendizaje profundo[24]. Entre otras cosas, asegura que la carrera por la supremacía en este campo no se puede comparar siquiera a la carrera espacial, es algo mucho mayor, equiparable a lo que supuso el dominio de la electricidad. De hecho, el informe hace suyas, aplicándolas a la IA las palabras del pionero Thomas Edison, que dijo: "La electricidad es el campo de todos los campos; [...] contiene los secretos que reorganizarán la vida del mundo." Este informe advierte también de que la computación en red que impulsa las capacidades de aprendizaje automático se ha vuelto ampliamente disponible y la convergencia de estos factores coloca ahora esta tecnología en manos de técnicos y no técnicos por igual. La pregunta fundamental ya no es cómo funciona esta tecnología, sino qué puede hacer por ti. Su conclusión es que, a medida que la IA continúe avanzando hacia el dominio cognitivo y neuromórfico, y la formación de equipos entre humanos y máquinas se vuelva más sofisticada, las fuerzas armadas necesitarán desarrollar conceptos más imaginativos y construcciones organizativas que aprovechen al máximo las tecnologías de IA. Si EE. UU. y Europa no reaccionan a tiempo, China asumirá el liderazgo en este ámbito y se volverán vulnerables a sus amenazas cada vez más sofisticadas, provenientes de entes estatales y no estatales.

Los grandes actores del mercado a nivel mundial llevan tomando posiciones desde hace tiempo. Cuando McKinsey habla de la Bio-Revolución, se refiere a la fusión de habilidades digitales con habilidades biológicas[25]. Las grandes corporaciones que manejan fuentes crecientes de datos biológicos se han acostumbrado a trabajar en un modelo de plataformas para integrarlos con la automatización y el aprendizaje automático y acelerar el ritmo y la variedad de descubrimientos científicos. Eso explica por qué Facebook pagó entre 500 y 1.000 millones de dólares en 2019 para adquirir CTRL-labs, una empresa tecnológica que traduce las señales neuronales de los músculos en entradas en el software. La investigación ha sugerido una regla empírica simple: todas las tareas que involucran solo un segundo de pensamiento pueden ser reemplazadas por análisis predictivos[26].



Fuente: EBRAINS

FIGURA 3.

LOS PILARES DE EBRAINS PARA TRANSFORMAR NUESTRO CONOCIMIENTO DEL CEREBRO. EBRAINS NACE PARA TRANSFERIR LA TECNOLOGÍA DESARROLLADA DENTRO DEL CONSORCIO DEL HBP, UNO DE LOS MAYORES PROYECTOS DE INVESTIGACIÓN FINANCIADOS POR LA UNIÓN EUROPEA. ESTE GRÁFICO RESUME SUS OBJETIVOS, ASÍ COMO LAS APLICACIONES QUE PUEDEN SURGIR DE UTILIZAR LOS DESCUBRIMIENTOS EN NEUROCIENCIA Y NEUROTECNOLOGÍA DESARROLLADOS EN LA UE.

AVANZAR NUESTRO COMPROMISO CIENTÍFICO SOBRE EL CEREBRO

UNIR LOS PUNTOS

RESOLVER EL MAYOR RETO DE LA NEUROCIENCIA: UNIR LOS CONOCIMIENTOS DE LOS DIFERENTES NIVELES DE ORGANIZACIÓN CEREBRAL. ESTO INCLUYE UNIFICAR DESCUBRIMIENTOS DE BIOLOGÍA MOLECULAR, CELULAR, CIRCUITOS Y REGIONES PARA ENTENDER CÓMO TRABAJA EL CEREBRO EN CONJUNTO.

ORGANIZAR LOS DATOS

PROPORCIONAR MAPAS Y HERRAMIENTAS QUE PERMITAN ORGANIZAR MEJOR LOS DATOS, SITUARLOS EN SU CONTEXTO ANATÓMICO Y PERMITIR QUE LOS USUARIOS LOS UTILICEN PARA RECONSTRUCCIONES CEREBRALES Y PARA EXPLORAR LAS RELACIONES ENTRE ESTRUCTURA Y FUNCIÓN.

MODELIZAR EL CEREBRO

UNIR LOS MODELOS MATEMÁTICOS DEL CEREBRO CON EL COMPORTAMIENTO OBSERVABLE UTILIZANDO EXPERIMENTOS DE NEUROROBÓTICA, EN LOS QUE LAS RESPUESTAS DE UN CEREBRO SIMULADO AFECTAN A SU ENTORNO A TRAVÉS DE UN CUERPO SIMULADO DONDE ESTOS CAMBIOS, A SU VEZ, SE PROPAGAN DE VUELTA AL CEREBRO A TRAVÉS DE SENTIDOS ARTIFICIALES.

UTILIZAR LOS CONOCIMIENTOS PARA MEJORAR EL DIAGNÓSTICO Y TRATAMIENTO DE ENFERMEDADES

DESCUBRIMIENTO DE FÁRMACOS

MEJORAR EL DESCUBRIMIENTO DE DIANAS TERAPÉUTICAS, CANDIDATOS A FÁRMACOS Y SIMULAR SU ACTIVIDAD EN EL CEREBRO.

DIAGNÓSTICO

MEJORAR LA DIAGNOSIS Y PROGNOSIS DE ENFERMEDADES NEUROLÓGICAS Y PSIQUIÁTRICAS.

CIRUGÍA

MEJORAR LOS RESULTADOS DE LA NEUROCIRUGÍA CON MEJORES DIAGNÓSTICOS Y TECNOLOGÍAS MÁS EFICACES PARA LAS INTERVENCIONES.

PRÓTESIS

DESARROLLO DE PRÓTESIS PARA SUPERAR PROBLEMAS DEL SISTEMA NERVIOSO CENTRAL COMO LAS AFECCIONES A LA MOVILIDAD Y LA VISIÓN.

TRASLADAR EL CONOCIMIENTO AVANZADO DEL CEREBRO A APLICACIONES TECNOLÓGICAS Y NUEVOS AVANCES

TELECOMUNICACIONES INSPIRADAS EN EL CEREBRO.

LOS SISTEMAS NEUROMÓRFICOS DE COMPUTACIÓN SON MÁS EFICIENTES QUE LOS ORDENADORES ACTUALES EN ALGUNAS ÁREAS, ADEMÁS DE CONSUMIR CANTIDADES DE ENERGÍA MUCHO MENORES.

INTELIGENCIA ARTIFICIAL BIOLÓGICA

LA NEUROCIENCIA PUEDE PROPORCIONAR “ATAJOS” PARA MEJORAR LA INTELIGENCIA ARTIFICIAL, REDUCIENDO EL TIEMPO QUE REQUIEREN HOY EN DÍA LOS MECANISMOS DE APRENDIZAJE AUTOMÁTICO.

ROBÓTICA INSPIRADA EN EL CEREBRO

ESTOS ROBOTS SERÍAN MÁS FLEXIBLES GRACIAS A CONTROLADORES BASADOS EN TECNOLOGÍAS CEREBRALES.

DISEÑO VIRTUAL Y ENSAYOS

CERACIÓN DE DISPOSITIVOS VIRTUALES DERIVADOS DEL CEREBRO MEDIANTE LAS INFRAESTRUCTURAS DE SIMULACIÓN DE EBRAINS. EL DESARROLLO DE NUEVOS ROBOTS Y TECNOLOGÍAS ESTARÍA DESACOPLADO DE LAS LIMITACIONES FÍSICAS, Y LAS SIMULACIONES REALISTAS PODRÍAN LLEVARSE A CABO EN ORDENADORES DE ALTO RENDIMIENTO (HPC).

La posición de España

Start-ups prometedoras con un tremendo potencial comercial

En Europa en general, y en España en particular, la inversión en neurociencia se ha dedicado fundamentalmente a conocer el cerebro en busca de soluciones en materia de salud[27]. Motivos no faltan: cerca del 60% de la población europea padece una enfermedad neurológica, según el ECB; y el número aumentará de manera constante a medida que la población envejezca. Además, se estima que una de cada seis personas en los países de la UE (17,3%) tenía un problema de salud mental en 2016 y se prevé que los trastornos depresivos se conviertan en la principal carga para los sistemas sanitarios para 2030. Los trastornos cerebrales también son frecuentes en los niños: en 2017, se estimó que 15 millones de menores en Europa se vieron afectados por la epilepsia, la discapacidad intelectual o un trastorno sensorial. De ahí que el ECB haya propuesto a los dirigentes públicos un Plan Europeo del Cerebro que se apoye en una mayor compartición de datos de los distintos países, aprovechando el European Health Data Space (EHDS)[28].

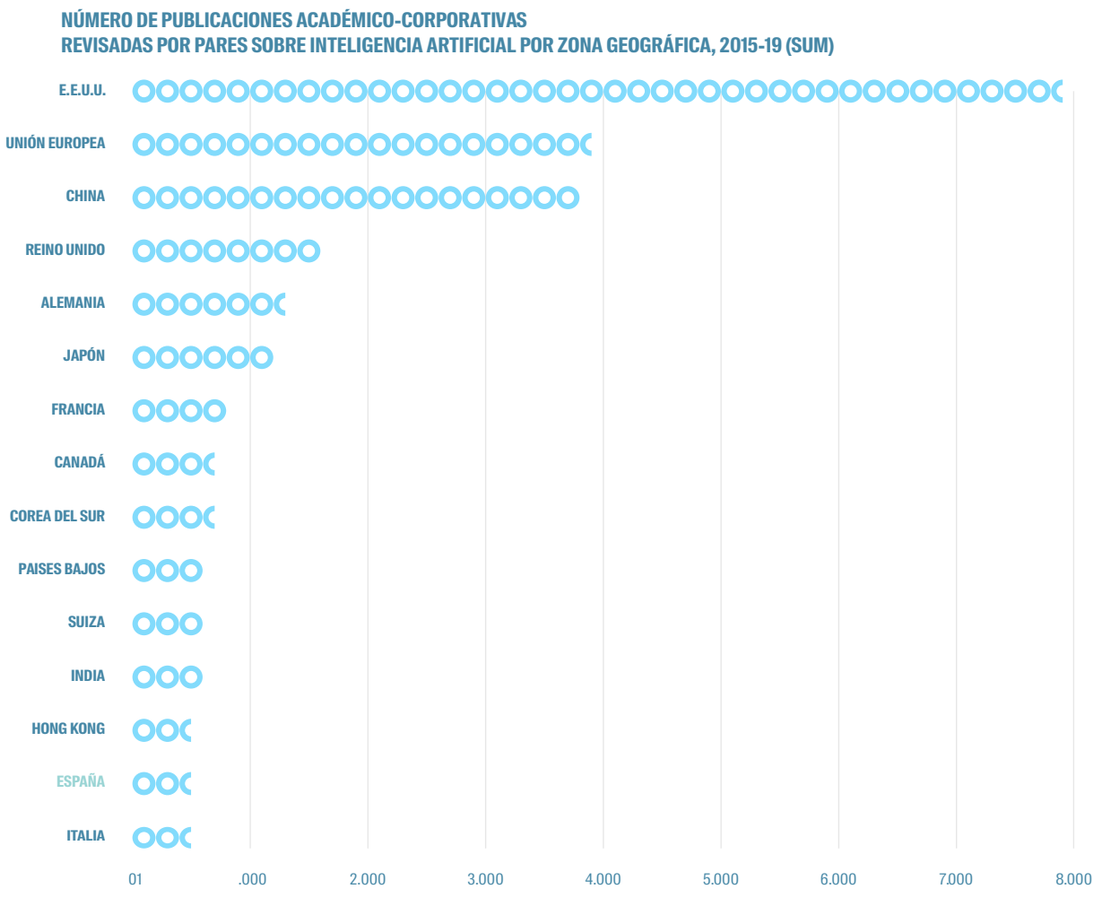
En 2020, la Comisión Europea concedió a HBP otros 150 millones de euros de subvención hasta 2023. Durante estos años, el objetivo es ampliar la inversión en aplicaciones, y avanzar en tres áreas científicas centrales: las redes cerebrales, su papel en la conciencia y las redes neuronales[29]. Se trata de aprovechar EBRAINS, dotado del atlas y la base de datos más completos sobre el cerebro humano, junto con potentes herramientas informáticas y de simulación, y ampliar el campo de influencia para entrar en las supercomputadoras, el análisis de big data, la simulación, los robots y la inteligencia artificial.

En España, existen destacados grupos de investigación universitaria (UAM, UCLM, UGR, UC3M, UPM, URJC, UB, UPF) muchos de los cuales pertenecen al consorcio del HBP europeo. Además, hay experiencias atractivas de emprendedores que van abriendo camino a diferentes aplicaciones de la neurociencia. Verbio es una *start-up* catalana que se ha hecho fuerte en el reconocimiento de voz para interactuar con máquinas, con clientes en todo el mundo como Intel y Sprint. TUPL, con un pie en Málaga y otro en Seattle, ha ideado una plataforma software basada en IA capaz de ejecutar las tareas de los ingenieros de forma sistemática. Esta empresa tiene importantes clientes, incluidos Softbank y T-Mobile. La valenciana Elite3D es una de las avanzadas en el mundo de los videojuegos que busca que el cerebro empatice con una creación artificial como si fuera natural. Y AllRead MLT usa redes neuronales para identificar las etiquetas de los contenedores, aunque estén desenfocadas, lo que la convirtió en el ojo artificial que controla los envíos de Iberia y British Airways.

Fuente: Elsevier/Scopus.

FIGURA 4.

INVESTIGACIÓN EN INTELIGENCIA ARTIFICIAL. A PESAR DE QUE ESPAÑA FUE PIONERA EN NEUROCIENCIA CON LOS DESCUBRIMIENTOS DE CAJAL, HOY EN DÍA LAS PUBLICACIONES CIENTÍFICAS ENTORNO A INTELIGENCIA ARTIFICIAL DEMUESTRAN QUE NUESTRO PAÍS ESTÁ MUY POR DETRÁS DE VECINOS EUROPEOS COMO FRANCIA, ALEMANIA O EL REINO UNIDO. A PESAR DE QUE SÓLO EE. UU. SUPERA AL CONJUNTO DE PAÍSES DE LA UE EN ESTE ÁMBITO, ES IMPORTANTE SEGUIR APOSTANDO POR LA I+D Y LA TRANSFERENCIA DE TECNOLOGÍA PARA GARANTIZAR UNA POSICIÓN DE LIDERAZGO EN EL FUTURO.



Retos

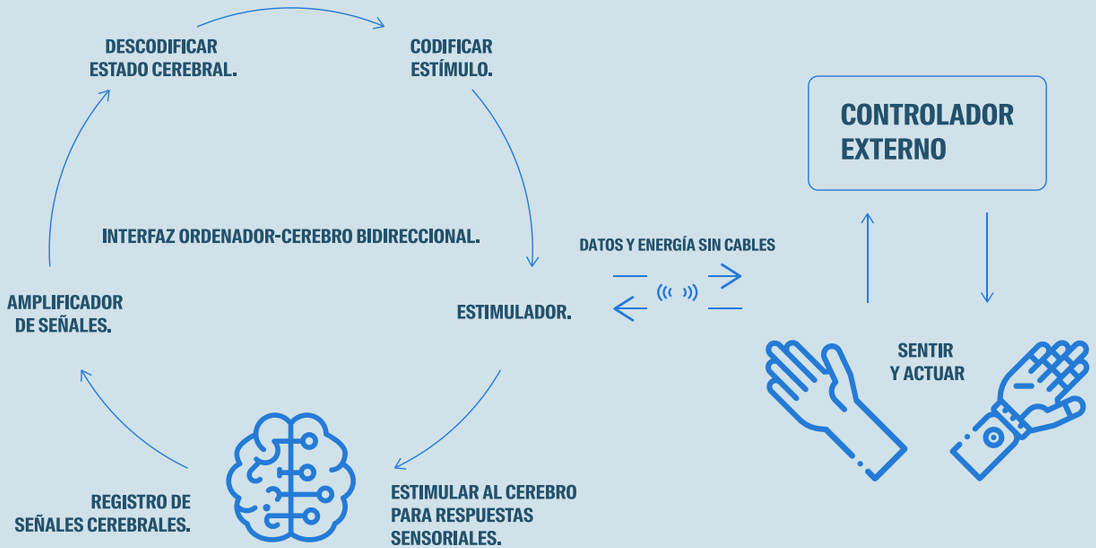
Apostar ahora garantiza una economía líder.

La neurociencia estaría incluida directamente como uno de los cuatro vectores de la Bio-Revolución, el que aborda la interfaz entre la biología y las máquinas, desde neuroprótesis hasta biocomputadoras. También explica el auge de la computación neuromórfica por la que apuestan compañías como Intel[30], y se extiende a ámbitos tan dispares como los videojuegos y las finanzas. Entre otras, destacan las tecnologías de la intención que desarrollan compañías como NTENT, con el español Ricardo Baeza-Yates como CTO, y la gestión del talento[31]. Como se ha descrito anteriormente, ya existen interfaces cerebro máquina que permiten a los usuarios controlar dispositivos externos, pero no hay ninguno que permita acceder a la información digital y absorberla directamente en el cerebro. Esos dispositivos bidireccionales están ya en el horizonte y prometen beneficios de productividad, creatividad y eficiencia; eso sí, una vez que se establezca la legislación sobre seguridad, accesibilidad y gobernanza de los datos[32].

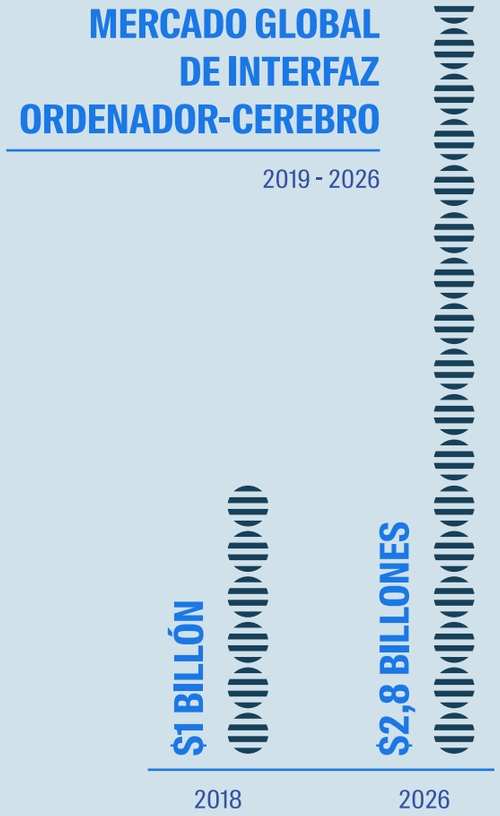
Hay más propuestas interesantes cuando se abre la puerta del diseño de las redes neuronales a la neurociencia. Se estima que el 40% de todo el valor potencial que puede crear la analítica de datos en la actualidad proviene de las técnicas de inteligencia artificial que caen bajo el paraguas del aprendizaje profundo, también conocido con la voz inglesa *deep learning*. En total, podría representar entre 3.500 y 5.800 millones de dólares en valor anual, aumentar entre un 1% y un 2% las ventas de los minoristas tradicionales y mejorar el pronóstico de la demanda en la fabricación avanzada entre un 10%

FIGURA 5.

LAS INTERFACES CEREBRO-ORDENADOR. LA NEUROCIENCIA ES UNO DE LOS VECTORES DE LA BIO-REVOLUCIÓN, QUE ABORDA TODO TIPO DE SISTEMAS PARA CONECTAR NUESTROS CEREBROS CON LOS ORDENADORES. LAS INTERFACES CEREBRO-ORDENADOR SON TECNOLOGÍAS QUE CAPTAN ONDAS CEREBRALES PARA LUEGO PROCESARLAS E INTERPRETARLAS. ALGUNAS DE ESTAS MÁQUINAS SON BIDIRECCIONALES, TAMBIÉN PUEDEN OPERAR EN SENTIDO CONTRARIO Y UTILIZAR SEÑALES ARTIFICIALES PARA CONTROLAR CIERTAS ACCIONES DE NUESTRO CEREBRO, COMO POR EJEMPLO RESPUESTAS SENSORIALES. EL MERCADO DE ESTOS DISPOSITIVOS, QUE ALCANZÓ LOS 1400 MILLONES DE DÓLARES EN 2020, SE TRIPLICARÁ ANTES DE 2027[33].



Fuente: The Conversation[34] / Grand View Research.

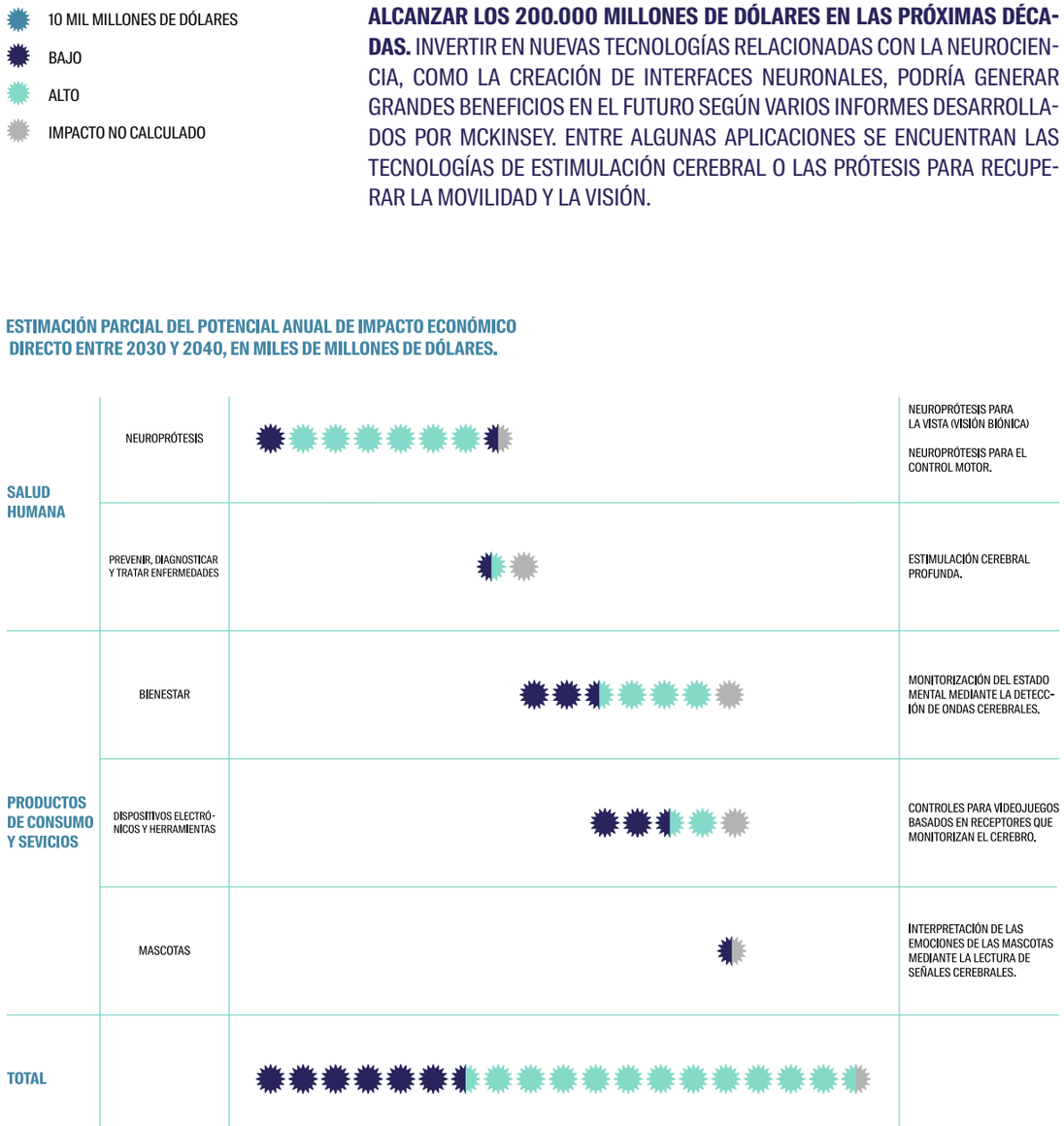


ATRIBUTO DEL INFORME	DETALLE
VALOR DEL TAMAÑO DE MERCADO EN 2020	USD 1390.49 MILLONES
PRONÓSTICO DE INGRESOS EN 2027	USD 3.7 BILLONES
RATIO DE CRECIMIENTO	CAGR OF 15..5% DE 2020 A 2027
ESTIMACIÓN DEL AÑO BASE	2019
DATOS HISTÓRICOS	2016 - 2018
PERIODO PRONOSTICADO	2020 - 2027

Fuente: McKinsey

FIGURA 6.

EL IMPACTO ECONÓMICO DE LA NEUROCIENCIA PUEDE ALCANZAR LOS 200.000 MILLONES DE DÓLARES EN LAS PRÓXIMAS DÉCADAS. INVERTIR EN NUEVAS TECNOLOGÍAS RELACIONADAS CON LA NEUROCIENCIA, COMO LA CREACIÓN DE INTERFACES NEURONALES, PODRÍA GENERAR GRANDES BENEFICIOS EN EL FUTURO SEGÚN VARIOS INFORMES DESARROLLADOS POR MCKINSEY. ENTRE ALGUNAS APLICACIONES SE ENCUENTRAN LAS TECNOLOGÍAS DE ESTIMULACIÓN CEREBRAL O LAS PRÓTESIS PARA RECUPERAR LA MOVILIDAD Y LA VISIÓN.



y un 20 %, lo que se traduciría en una reducción potencial del 5% en los costos de inventario y en un aumento de los ingresos del 2% al 3%[35]. La clave se encuentra allí donde las técnicas de redes neuronales pueden proporcionar un rendimiento más alto que las técnicas analíticas establecidas o generar información y aplicaciones adicionales, que es en un 69% de los casos de uso de IA.

La integración del mundo biológico y el digital plantea, no obstante, enormes desafíos en el ámbito ético y regulatorio cuando del cerebro se trata. En lo que se refiere a las técnicas de aprendizaje automático, la Comisión Europea advierte de que los algoritmos, una vez entrenados para inferir determinados modelos a partir de un conjunto de datos, pueden seguir aprendiendo mientras se utilizan. Lo hacen de manera autónoma a partir de su percepción del entorno y sin seguir un conjunto predefinido de instrucciones, con un comportamiento diseñado y restringido en gran medida por sus desarrolladores[36]. Asimismo, varios informes vaticinan que muchas de las futuras batallas geopolíticas se van a desarrollar en el interior del cerebro: en la medida en que las ondas cerebrales puedan representarse como un desafío de visión artificial para la IA, sus misterios van a poder desbloquearse y programarse.

Conclusiones

La neurociencia ha avanzado muchísimo desde los descubrimientos pioneros de Cajal. El potencial de crecimiento de este conjunto de tecnologías en el siglo XXI ha sido muy significativo, tanto que será clave en el liderazgo geopolítico de los próximos años. La neurociencia está indiscutiblemente ligada a avances tecnológicos en campos como la realidad virtual, el deep learning y la inteligencia artificial[36], tal y como demuestran algunos avances de la zaragozana Bitbrain, que permiten controlar aparatos mecánicos como sillas de ruedas y robots usando nuestra mente[37]. Además, la comprensión del sistema nervioso y sus mecanismos moleculares dará lugar a mejores herramientas de diagnóstico y tratamiento de enfermedades mentales y enfermedades neurodegenerativas, un problema que preocupa especialmente a una población española que envejece. Gracias al desarrollo conjunto de la neurociencia y la neurotecnología, así como una apuesta por la transferencia de conocimiento y la creación de nuevas empresas, impulsaremos desarrollos que transformarán nuestro futuro. Máquinas que anticipen nuestros pensamientos evitando accidentes, interfaces neuronales que mejoren nuestra memoria e implantes avanzados capaces de curar enfermedades como el párkinson o la epilepsia serán una realidad muy pronto.

1. The Nobel Prize (n.d.) **"The Nobel Prize in Physiology or Medicine 1906."** Consultado el 2 de abril de 2021.

2. Klein, J. **"Santiago Ramón y Cajal, el hombre que dibujó los secretos del cerebro."** The New York Times, 21 de febrero de 2017. Consultado el 2 de abril de 2021.

3. Bernardo, A. **"Nueva técnica de escaneo cerebral permite representar tus pensamientos."** Blogthinkbig.com, 2 de septiembre de 2013. Consultado el 2 de abril de 2021.

4. Ojeda, S.R. **"Los grandes desafíos de la neurociencia en el siglo XXI."** Universidad de Córdoba, 5 de octubre de 2011. Consultado el 2 de abril de 2021.

5. Boto, A. **"El siglo del cerebro."** El País Semanal, 26 de marzo de 2006. Consultado el 2 de abril de 2021.

6. Martín, B. **"Cuatro grandes avances de la historia de la neurotecnología."** BBVA Openmind, 12 de diciembre de 2019. Consultado el 2 de abril de 2021.

7. Alonso, L. **"Técnicas de neuroimagen."** Mente y Cerebro, julio de 2017. Consultado el 2 de abril de 2021.

8. CORDIS (2013). **"Técnicas innovadoras para el diagnóstico por neuroimagen."** Consultado el 2 de abril de 2021.

9. Becker, R. **"Spinal implants help treat paralysis but aren't ready for primetime."** The Verge, 3 de noviembre de 2018. Consultado el 2 de abril de 2021.

10. Trindade, G. **"La biotecnológica española que compite con Elon Musk en neurotecnología."** Expansión, 26 de marzo de 2021. Consultado el 2 de abril de 2021.

11. Gispert, B. **"La 'medtech' Inbrain consigue 14,3 millones."** La Vanguardia, 26 de marzo de 2021. Consultado el 2 de abril de 2021.

12. Medline/NIH (n.d.). **"Implante coclear."** Consultado el 2 de abril de 2021.

13. Universidad de Florida (2017). **"Patient gets 'bionic eye' vision system during UF Health's first retinal implant."** Consultado el 2 de abril de 2021.

14. Eurekalert (2016). **"Amputee feels texture with a bionic fingertip."** Consultado el 2 de abril de 2021.

15. Mora, J. **"María López, cofundadora de Bitbrain: Nuestra tecnología está en pañales, pero puede cambiar la naturaleza humana."** Heraldo de Aragón, 31 de diciembre de 2020. Consultado el 2 de abril de 2021.

16. Bray, N. **"The microbiota-gut-brain axis."** Nature, 17 de junio de 2019. Consultado el 2 de abril de 2021.

17. Howes, L. **"How your gut might modify your mind."** Chemical and Engineering News, 8 de abril de 2019. Consultado el 2 de abril de 2021.

18. CORDIS (2017). **"Los mecanismos moleculares de la enfermedad de Parkinson."** Consultado el 2 de abril de 2021.

19. (a) Universidad Autónoma de Madrid (2011). **"Nueva diana terapéutica en el tratamiento de la enfermedad de Parkinson."** Consultado el 2 de abril de 2021. (b) Universidad de Barcelona. **"Encuentran nuevas dianas terapéuticas contra la enfermedad de Huntington."** Agencia SINC, 15 de julio de 2013. Consultado el 2 de abril de 2021.

20. HBP (n.d.). **"Short Overview of the Human Brain Project."** Consultado el 2 de abril de 2021.

21. EBRAINS (n.d.). **"Discover EBRAINS: A key enabler to advance brain science."** Consultado el 2 de abril de 2021.

22. Comisión Europea (2021). **"Horizon Europe Programme. Work Programme 2021-2022. Health."** Consultado el 31 de marzo de 2021.

23. EFNA (2020). **"Open letter to the European Commissioner for Health and Food Safety Stella Kyriakides."** Consultado el 2 de abril de 2021.

24. NSCAI (2021). **"Final Report. National Security Commision of Artificial Intelligence."** Consultado el 2 de abril de 2021.

25. McKinsey (2020). **"The Bio Revolution."** Consultado el 2 de abril de 2021.

26. Kraus, M. et al. **"Deep learning in business analytics and operations research: Models, applications and managerial implications."** European Journal of Operational Research, 16 de marzo de 2020. Consultado el 2 de abril de 2021.

27. Morris, R.G.M. et al. **"Consensus Statement on European Brain Research: the need to expand brain research in Europe."** European Journal of Neuroscience, 2016, 44, pp. 1919-1926.

28. EBC (2021). **"Brain Health in Europe, Fostering Innovation, Improving Outcomes. A Policy Roadmap."** Consultado el 2 de abril de 2021.

29. HBP (2020). **"Human Brain Project announces new phase."** Consultado el 2 de abril de 2021.

30. Intel (n.d.). **"What Is Neuromorphic Computing."** Consultado el 2 de abril de 2021.

31. Boston Consulting Group (2019). **"Your Capabilities Need a Strategy Choosing and Developing the Right Ones for Each Environment."** Consultado el 2 de abril de 2021.

32. EYQ Technology Insights (2020). **"Four transformational technologies to have on your radar."** Consultado el 2 de abril de 2021.

33. GVR (2019). **"Brain Computer Interface Market Size, Share & Trends Analysis Report."** Consultado el 7 de mayo de 2021.

34. Wu, J. y Rao, R.P.N. **"Me ind and machine: How close are we?"** The Conversation, 10 de abril de 2017. Consultado el 7 de mayo de 2021.

35. Chui, M. et al. **"Most of AI's Business Uses Will Be in Two Areas."** Harvard Business Review, 20 de Julio de 2018. Consultado el 2 de abril de 2021.

36. Comisión Europea (2020). **"Libro Blanco sobre la inteligencia artificial - un enfoque europeo orientado a la excelencia y la confianza."** Consultado el 2 de abril de 2021.

37. Martín, B. **"Así extiende la neurotecnología los límites del cerebro."** BBVA Openmind, 20 de septiembre de 2019. Consultado el 2 de abril de 2021.

38. Escolano, C. et al. **"A telepresence robotic system operated with a P300-based brain-computer interface: Initial tests with ALS patients."** IEEE, 11 de noviembre de 2010. Consultado el 2 de abril de 2021.

05.
Matemáticas para el procesamiento de datos.

/ Extrema comprensión de datos
/ Velocidad en transmisión de datos



/ Mejora del diagnóstico médico
/ Ahorro energético
/ Telecomunicación eficiente

En clave

Las matemáticas son una ciencia aparentemente invisible. Aunque no las vemos, están detrás de millones de cosas cotidianas, como comprobar nuestros correos electrónicos o las predicciones meteorológicas. Apostar por las matemáticas garantiza el desarrollo y el crecimiento económicos. Son clave para acelerar la innovación. La Comisión Europea quiere fomentar el desarrollo de nuevos algoritmos y modelos matemáticos para que los estados miembros lideren la transformación digital, el diseño de nuevas herramientas de diagnóstico y nuevos métodos criptográficos, que puedan ayudarnos a enfrentar los posibles ataques de seguridad llevados a cabo desde los ordenadores cuánticos.

La tecnología

Ecuaciones y ondículas para comprimir información.

Las matemáticas estudian las propiedades de los números, los símbolos y las figuras geométricas. A simple vista, cuesta comprender la importancia de esta ciencia en nuestra vida cotidiana, pero, en realidad, son fundamentales para el desarrollo económico[1]. En concreto, Manuel de León, profesor de investigación del CSIC y exdirector y fundador del Instituto de Ciencias Matemáticas, destaca tres formas en que benefician directamente a la sociedad[2]. En primer lugar, nos permiten racionalizar, analizar e interpretar los datos –desde las predicciones meteorológicas a los resultados de una resonancia magnética–, lo que equivale a comprender mejor el mundo. También contribuyen a una sociedad más segura gracias a los algoritmos y la criptografía, que protegen nuestras comunicaciones, nuestras cuentas bancarias y nuestros datos. Por último, las matemáticas facilitan el desarrollo de modelos para minimizar la incertidumbre y predecir la evolución de fenómenos complejos, como por ejemplo la pandemia de COVID-19[3]. Algunos de estos sistemas calculan la necesidad de camas en las unidades de cuidados intensivos utilizando tanto complejas ecuaciones matemáticas como tecnologías de inteligencia artificial. Esto facilita la gestión de la epidemia y evita el colapso de los recursos sanitarios[4]. En definitiva, las diferentes ramas de las matemáticas son clave para la sociedad, y seguir invirtiendo en investigación y desarrollo garantiza un impacto positivo en la economía.

En 2030, habrá el doble de dispositivos conectados a internet que ahora, según Statista[5]. Estas cifras serían imposibles sin las contribuciones de las matemáticas a las

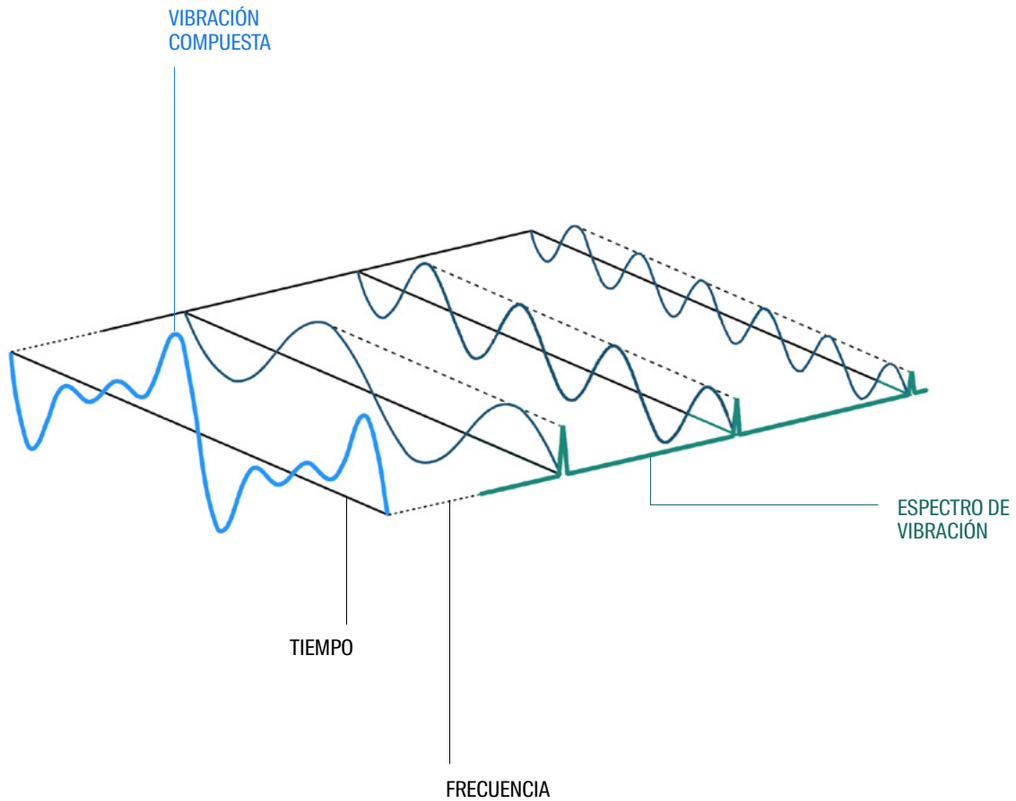
telecomunicaciones, que nos permiten comprimir y descomprimir información de manera eficiente y segura. Gran parte de este trabajo está basado en estudios desarrollados en los siglos XVIII y XIX por el matemático francés Joseph Fourier. Sus fórmulas permiten descomponer señales y funciones matemáticas complejas en expresiones más sencillas conocidas como 'series'. Además, estas transformaciones son reversibles. Por tanto, también hacen posible recomponer los fragmentos y descomprimir la información. Estos procesos permiten manejar e interpretar señales mientras viajan por los dispositivos eléctricos y electrónicos. La información de ceros y unos se transforma en pulsos electromagnéticos y viceversa[6]. Estos avances matemáticos también han permitido el desarrollo de formatos digitales que almacenan la información de forma eficiente. Un ejemplo clásico son los algoritmos JPEG, que utilizan sucesivas transformaciones de Fourier para comprimir la información de una imagen[7]. Una vez comprimidas, las imágenes JPEG contienen menos información que una fotografía original, pero son mucho más ligeras y nos permiten guardar entre seis y diez veces más datos en el mismo espacio[8]. Actualmente, el almacenamiento de datos es una de las industrias más contaminantes del planeta, responsable de una huella de carbono comparable a todos los viajes en avión. Según algunas estimaciones, en 2025 los centros de datos consumirán un 20% de toda la electricidad generada y, en 2040, serán responsables de un 15% de las emisiones de gases de efecto invernadero; comparable a las de EE. UU. hoy en día[9]. Curiosamente, el hombre que descubrió las herramientas matemáticas que nos ayudarán a mitigar el impacto de nuestro consumo masivo de datos, Joseph Fourier, fue el primer científico en observar el efecto invernadero. Después de estudiar la transmisión de calor durante años, descubrió que la temperatura de nuestro planeta era mucho más alta de lo que predecían sus modelos y sugirió que la atmósfera, de algún modo, era responsable de mantener la Tierra cálida[10].

Además de reducir el consumo energético, las matemáticas pueden ayudarnos a luchar contra el cambio climático de otras maneras muy diferentes. Pueden contribuir al desarrollo de modelos climáticos más precisos, identificando

Fuente: Dev.to

FIGURA 1.

LA TRANSFORMADA DE FOURIER. LAS ECUACIONES DESARROLLADAS POR EL FÍSICO Y MATEMÁTICO JOSEPH FOURIER PERMITEN SIMPLIFICAR ALGUNAS SEÑALES COMPLEJAS. POR EJEMPLO, PUEDEN EXTRAER LAS DIFERENTES COMPONENTES (ONDAS MORADAS) DE LA SEÑAL DE LA IZQUIERDA (AZUL) Y PERMITIR UNA REPRESENTACIÓN MÁS SENCILLA, COMO EL ESQUEMA DE LA DERECHA.




59.94
BBCTX-1 1080i/59.94 BBCTX-2

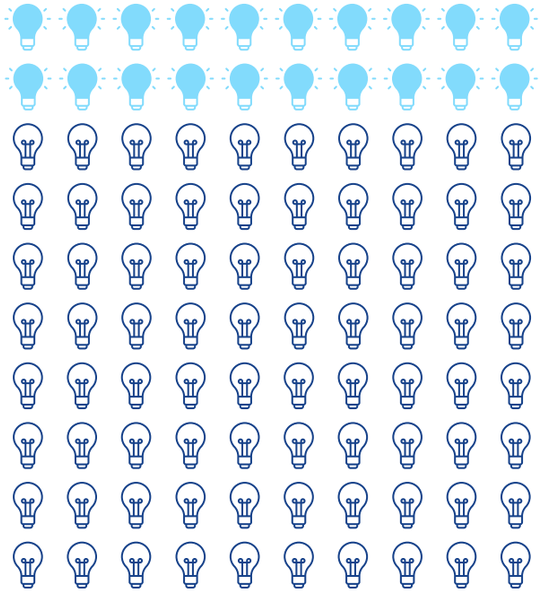
situaciones potencialmente peligrosas y anticipando respuestas coherentes. También se pueden utilizar los modelos matemáticos para optimizar la eficiencia de las fuentes de energía renovables, desde localizar los puntos geográficos óptimos para situar granjas eólicas y solares hasta garantizar que los recursos generados se aprovechan al máximo. Por último, gracias al *big data*, podemos desarrollar nuevas tecnologías que nos ayuden a mitigar los efectos de la crisis climática. Entre otros avances, existen modelos matemáticos que simulan las propiedades de nuevos materiales de captura de carbono, que podrían utilizarse para atrapar los gases de efecto invernadero y almacenarlos o, mejor aún, destinarlos a procesos químicos sostenibles[11].

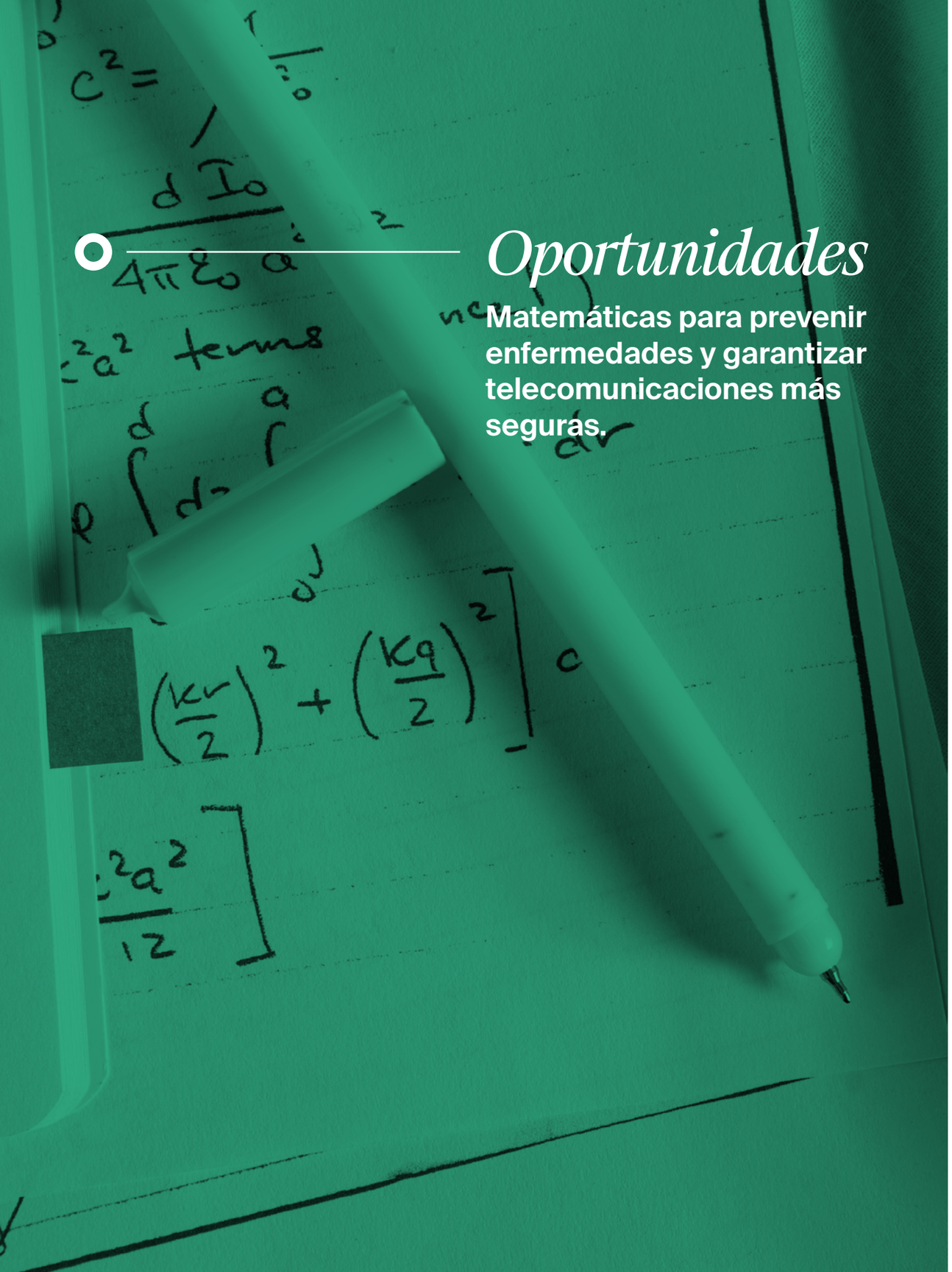
Pero hay muchos otros matemáticos que han contribuido al desarrollo de soluciones que nos permiten comprender señales complejas, procesar información y comprimir datos. Siguiendo la misma idea de descomponer funciones en componentes sencillas, los franceses Jean Morlet, Alex Grossman y la belga Ingrid Daubechies desarrollaron la teoría de ondículas, también conocidas por su nombre inglés: *'wavelets'*[12]. Estos mecanismos matemáticos facilitan analizar e interpretar zonas concretas de las señales con comportamientos anómalos, dispares o bruscos como, por ejemplo, los movimientos sísmicos. Las ondículas también nos permiten aislar fenómenos puntuales entre cantidades enormes de datos, del mismo modo que nuestro oído es capaz de aislar la melodía de una flauta durante una sinfonía. Las aplicaciones son muy numerosas. Por ejemplo, en 1990, unos científicos de la Universidad de Stanford utilizaron las ondículas para eliminar el ruido de fotografías borrosas, consiguiendo imágenes descomprimidas más detalladas que los originales. Poco después, el FBI utilizó varios algoritmos basados en ondículas para comprimir su base de datos de huellas dactilares y, en 1995, Pixar estrenó la primera película animada completamente por ordenador: Toy Story. Para conseguir las formas y texturas que hacen a sus personajes tan realistas, los animadores utilizaron programas basados en los desarrollos matemáticos de Daubechies[13]. Además de las innumerables aplicaciones en informática (entre las que también se encuentra un algoritmo JPEG mejorado, que comprime las imágenes sin

perder tantos detalles), las ondículas encuentran aplicaciones en óptica, medicina, meteorología y seguridad, entre otras. Actualmente, los asistentes virtuales (Siri, Alexa, Cortana, Google Home) han invadido nuestros hogares. Pero ninguno de estos dispositivos funcionaría sin las ondículas, fundamentales en el desarrollo de sistemas de reconocimiento de voz eficaces[14].
Los científicos detrás de estos avances han recibido galardones tan prestigiosos como el Premio Abel (considerado por muchos como el Nobel de las matemáticas)[15] y, recientemente, el Premio Princesa de Asturias de Investigación Científica y Técnica 2020. Este último reconoce la importancia de las teorías matemáticas de Daubechies y sus colegas en el procesamiento matemático de datos, base de la era digital, el diagnóstico médico, la ingeniería y la investigación científica[16].

20%

EN 2025, LOS CENTROS DE DATOS CONSUMIRÁN UN 20% DE TODA LA ELECTRICIDAD GENERADA Y, EN 2040, SERÁN RESPONSABLES DE UN 15% DE LAS EMISIONES DE GASES DE EFECTO INVERNADERO.





Oportunidades

Matemáticas para prevenir enfermedades y garantizar telecomunicaciones más seguras.

La periodista científica Azucena Martín llama a las matemáticas el bisturí desconocido de los médicos. Y es que los análisis matemáticos son fundamentales en medicina. Las ecuaciones de Fourier y las ondículas, por ejemplo, son necesarias para interpretar las señales detectadas por los aparatos de imagen, como los escáneres de tomografía axial computarizada, resonancia magnética y tomografía por emisión de positrones. Actualmente, los matemáticos estudian nuevos modelos y algoritmos que permitan desarrollar sistemas de detección más eficaces y con mejor resolución[17]. Otras soluciones matemáticas analizan anomalías en las estadísticas de nacimientos y localizan factores que agravan la mortalidad infantil. También se utilizan algoritmos avanzados para detectar tumores y estudiar su avance que, curiosamente, recuerda a la evolución de otros fenómenos naturales como el cauce de los ríos[18]. Por último, las matemáticas han sido clave para modelizar y entender la proliferación del SARS-CoV-2, el virus que causa la COVID-19. Según los Centros para el Control y la Prevención de Enfermedades de EE. UU., los modelos matemáticos han permitido responder a la pandemia porque facilitan la toma de decisiones informadas. Entre otras cosas, contribuyen a una mejor planificación y distribución de recursos, además de ayudar a implementar medidas eficaces de distanciamiento social[19]. Muchos análisis epidemiológicos se basan en las contribuciones de Kermack y McKendrick, dos matemáticos escoceses que utilizaron las matemáticas para analizar, racionalizar y predecir la progresión de las epidemias en 1927[20]. Entre ellos se encuentra el modelo SIR[21], que permite calcular el famoso número R, un factor relacionado con la velocidad de reproducción de enfermedades contagiosas[22]. Las matemáticas también han servido para analizar de forma rigurosa la mecánica de aerosoles, clave en la transmisión del virus[23]. Estos modelos han sido fundamentales para entender mejor los contagios en interiores y han contribuido al desarrollo de medidas de protección adicionales (como la ventilación y las mascarillas), así como a la creación de simuladores que permiten diseñar espacios más seguros[24]. Uno de los modelos más eficaces para este tipo de simulaciones lo desarrolló el equipo de José Luis Jiménez, un químico español, experto en dinámica de partículas, que trabaja en la Universidad de Colorado, EE. UU[25]. España también ha dado

muestras de su buen posicionamiento en investigación. El modelo creado por la Universidad Politécnica de Cataluña[26] permite predicciones por países y por comunidades autónomas de hasta cinco días de antelación. Por su parte, la iniciativa "Acción matemática contra el coronavirus" del Comité Español de Matemáticas ha puesto en marcha un portal web para compartir modelos y un comité de experto que valora todas las aportaciones[27].

Las matemáticas han sido clave para modelizar y entender la proliferación del SARS-CoV-2.

Además del potencial de las matemáticas para reducir el consumo energético de las telecomunicaciones y desarrollar nuevos tratamientos médicos, Manuel de León señala su importancia en diferentes tecnologías de criptografía. Ya durante la Segunda Guerra Mundial, por ejemplo, un equipo de matemáticos aliados, liderado por Alan Turing, ayudó a descifrar las comunicaciones secretas que mandaban los alemanes a través de sus máquinas Enigma. Después, las matemáticas se convirtieron en la base de los sistemas de encriptación digital como el RSA, que utiliza la multiplicación de números primos y la factorización de números enteros para codificar mensajes[28]. Otros sistemas de criptografía más avanzados utilizan la multiplicación de curvas elípticas, que cifran los certificados electrónicos para aplicaciones como el voto electrónico o las firmas digitales. Las curvas elípticas también están detrás de las tecnologías de cadenas de bloques (más conocida por su nombre en inglés, el blockchain), usadas en sistemas de pagos seguros, transacciones bancarias o, más recientemente, nuevas criptomonedas como Bitcoin, Ethereum y DeepOnion[29].

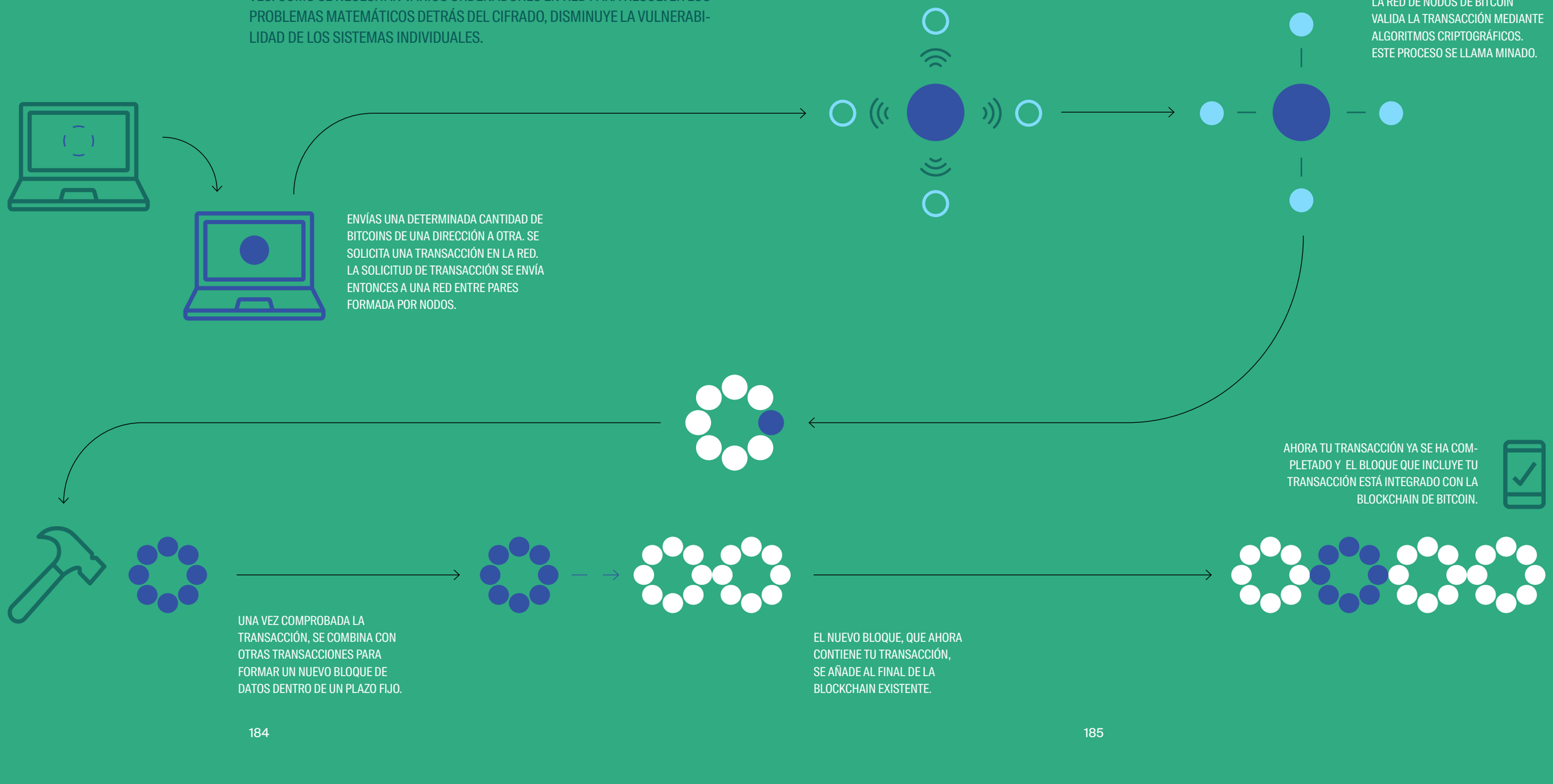
Es común encontrar artículos que vaticinan que, en cuanto triunfe la computación cuántica, la criptografía que conocemos desaparecerá. No obstante, Manuel de León opina que las matemáticas seguirán siendo la respuesta. Por un lado, porque las ecuaciones matemáticas son el fundamento de la mecánica cuántica, desarrollada a principios del siglo XX por

científicos como Werner Heisenberg y Max Born, que utilizaron matrices para explicar los fenómenos atómicos; Erwin Schrödinger, que utilizó la física de ondas; y Paul Dirac y John von Neumann, quienes lograron unificar ambas aproximaciones y sentar las bases matemáticas rigurosas de la teoría. Pero, además, las matemáticas son la única herramienta que nos permitirá desarrollar nuevos algoritmos adaptados a los ordenadores cuánticos. En este sentido, instituciones como el NIST (National Institute of Standards and Technology) de EE. UU. ya están desarrollando nuevos protocolos de seguridad para anticiparse a la llegada de ordenadores más potentes. Por eso, precisamente, es importante apostar e invertir en matemáticas.

Fuente: Bitpanda Academy.

FIGURA 2.

CÓMO FUNCIONA EL *BLOCKCHAIN*. EN LAS TECNOLOGÍAS DE CIFRADO POR BLOQUES, LAS TRANSACCIONES NO ESTÁN DIRIGIDAS POR UN EMISOR Y UN RECEPTOR, SINO POR UNA RED DESCENTRALIZADA DE CLAVES. COMO SE NECESITAN VARIOS ORDENADORES EN RED PARA RESOLVER LOS PROBLEMAS MATEMÁTICOS DETRÁS DEL CIFRADO, DISMINUYE LA VULNERABILIDAD DE LOS SISTEMAS INDIVIDUALES.



La posición de España

Una gran oportunidad para desarrollar la economía.

Las matemáticas son una herramienta de conocimiento y de comunicación. Para estimar su impacto en la economía y la sociedad, hay que establecer como primera referencia el capital humano. Los datos indican que España tiene un claro margen de mejora en ese sentido, apunta Manuel de León. Si se aplica el enfoque de ocupaciones, en España las matemáticas fueron responsables de más de 630.000 puestos de trabajo (un 3,6% del total), según un estudio de Afi para la Red Estratégica en Matemáticas (REM). También contribuyeron al valor agregado bruto (VAB) en unos 62.000 millones de euros o, lo que es lo mismo, un 6,1% del total de la economía española. Si se realiza un enfoque combinado de ocupaciones y productos con intensidad matemática ambos porcentajes crecen hasta el 6% del empleo total de la economía española y 103.000 millones de euros del VAB, considerando todo el colectivo de profesionales de las matemáticas[30]. Un indicador positivo es la eficacia de la formación matemática que proporcionan las universidades: los porcentajes de ocupación de los estudiantes de acuerdo con su ámbito de estudio, cuatro años después de acabar la carrera, fueron del 78% para informática, del 72,2% para matemáticas y estadística, del 71,7% para salud y del 71,5% para ingeniería[31].

Estas cifras sitúan a nuestro país, no obstante, por debajo de las economías europeas más avanzadas. En Reino Unido[32], Francia[33] y Holanda[34] las matemáticas son responsables de entre un 10% y 11% del empleo directo y entre el 13% y el 16% del VAB total. Al comparar con estos países, España destaca por

estar muy rezagada en profesiones de intensidad matemática como especialistas en bases de datos y redes informáticas, finanzas, profesionales de las tecnologías de la información o diseñadores de software y multimedia[35]. Sin embargo, la demanda de habilidades científico-tecnológicas ha ido en aumento desde principios de la década de 2000 y se espera que continúe el crecimiento, no solo impulsado por la creación de nuevos empleos que requieren habilidades técnicas avanzadas, sino también debido a una fuerte demanda de reemplazo anticipada como resultado del envejecimiento de la fuerza laboral en estos campos[36].

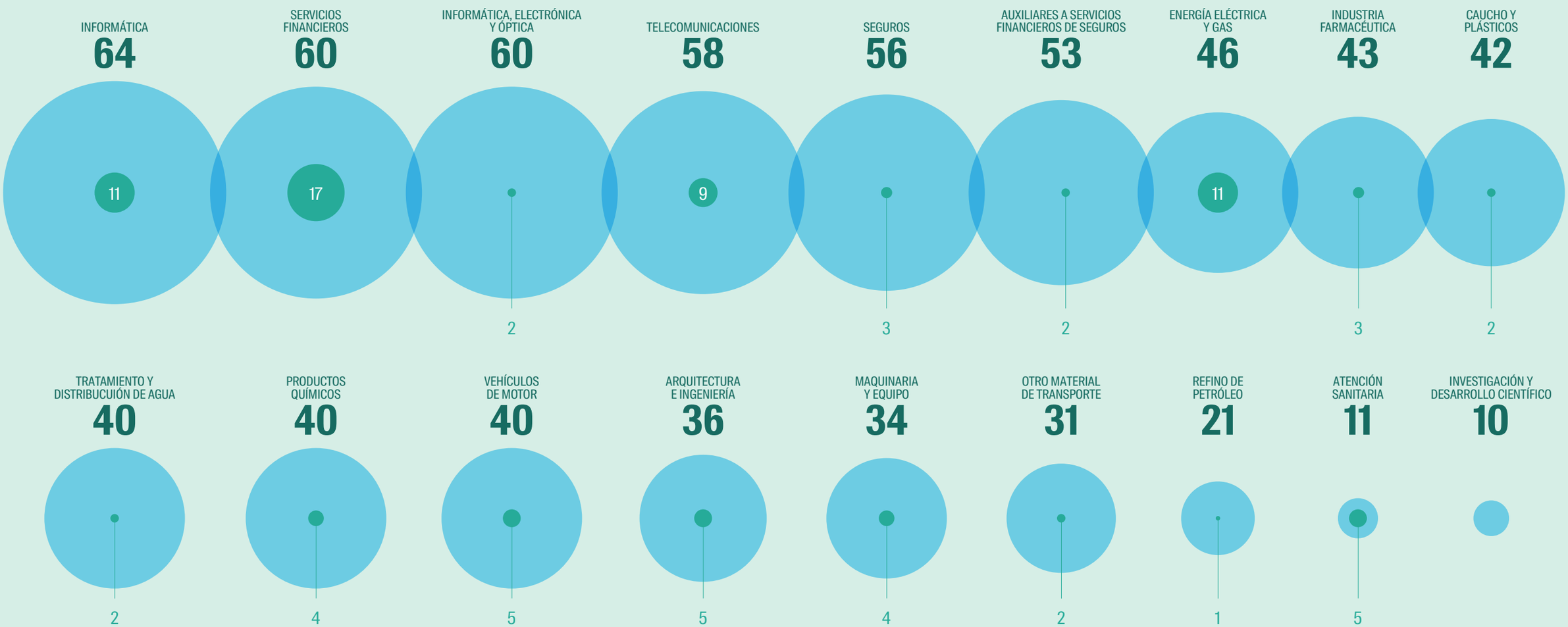
Las matemáticas contribuyen al Valor Agregado Bruto en unos 62.000 millones de euros, un 6,1% del total de la economía española.

En cuanto a Estados Unidos, en 2019 las estimaciones del USBLS[37] indicaban que el empleo general de matemáticos y estadísticos crecerá un 33% hasta 2029, mucho más rápido que el promedio de todas las ocupaciones. En el caso de los profesionales estadísticos, se prevé un incremento del 35% como consecuencia de su uso más generalizado para informar las decisiones de negocios, salud y política. Los mayores empleadores en ese país son la investigación y desarrollo en ciencias físicas, de ingeniería y de la vida (14%), el gobierno (11%), la asistencia sanitaria y social (10%), el sector educativo (7%) y las compañías de seguros (7%). La cantidad de datos almacenados digitalmente aumentará durante la próxima década a medida que más personas y empresas realicen negocios online y utilicen las redes sociales y los dispositivos móviles, según el USBLS. Como resultado, las empresas necesitarán cada vez más expertos en estadística para analizar la gran cantidad de información y datos recopilados, con la intención de mejorar sus procesos comerciales, desarrollar nuevos productos y llevar los anuncios directamente a los clientes potenciales[38]. El empleo en ocupaciones de matemáticas, por su parte, crecerá un 27% hasta 2029, a medida que las empresas y la administración pública apuesten por el uso de big data. Es interesante destacar que este tipo de puestos laborales tienen un salario medio anual de 90.410

Fuente: Afi.

FIGURA 3.

IMPACTO ECONÓMICO DE LAS MATEMÁTICAS EN DIFERENTES RAMAS DE LA ACTIVIDAD ECONÓMICA. ESTE GRÁFICO REPRESENTA EL PORCENTAJE DE VAB QUE REPRESENTAN LAS MATEMÁTICAS EN EL DESARROLLO ECONÓMICO DE VARIAS ACTIVIDADES COMERCIALES, ENTRE LAS QUE DESTACAN LA INFORMÁTICA (64%), LOS SERVICIOS FINANCIEROS (60%) Y LAS TELECOMUNICACIONES (58%).



Fuente: Afi, Deloitte, CMI.

FIGURA 4.

IMPACTO DE LAS MATEMÁTICAS EN MACROECONOMÍA.
ESTIMACIÓN DEL IMPACTO DIRECTO DE LAS MATEMÁTICAS SOBRE EL VAB EN VARIOS PAÍSES EUROPEOS, EN MILES DE MILLONES DE EUROS. ESPAÑA, DE MOMENTO ESTÁ POR DETRÁS DE FRANCIA, REINO UNIDO Y HOLANDA.

VAB (MIL MILL.)	DIRECTO	INDIRECTO	INDUCIDO	**TOTAL**
REINO UNIDO	243	181	224	**649**
FRANCIA	285	N.D.	N.D.	**N.D.**
HOLANDA	71	37	51	**159**
ESPAÑA	103	170		**273**

VAB (% TOTAL)	DIRECTO	INDIRECTO	INDUCIDO	**TOTAL**
REINO UNIDO	16,0%	12,0%	15,0%	**43,0%**
FRANCIA	15,0%	N.D.	N.D.	**N.D.**
HOLANDA	13,2%	6,9%	9,5%	**29,6%**
ESPAÑA	10,1%	16,8%	16,8%	**26,9%**

dólares ese año, rebasando en más del doble el salario medio anual para todas las ocupaciones en EE. UU., situado en 39.810 dólares.

Para no perder posiciones en un ámbito de intersección de la ciencia y la empresa tan estratégico, la Comisión Europea pidió aportaciones específicas a la comunidad científica sobre cómo las matemáticas podrían ayudar a la competitividad de su economía. En su informe final, la Comisión destaca el valor de las matemáticas en áreas como la industria del automóvil, las industrias aeroespacial y electrónica, la energía, el medio ambiente, la salud, los servicios, el transporte, la logística, y multitud de ámbitos más, que incluyen desde sector financiero al mantenimiento predictivo[39]. Este mismo informe señala los cálculos en mecánica de fluidos como un gran indicador del progreso que se avecina en matemáticas aplicadas. Quizás sorprendentemente, las mayores capacidades computacionales se encuentran en Hollywood, dado que es la industria cinematográfica quien ejecuta enormes simulaciones de flujo para crear escenarios de mar, olas y ríos de aspecto realista, y también para imitar otros detalles de la vida real y producir otros efectos visuales. De modo que hay que estar preparado, porque a lo largo de los próximos años irán surgiendo nuevas formas de convergencia, según la Comisión Europea, en áreas como las ciencias de la vida, la física y la ingeniería, la química y las ciencias sociales.

Finalmente, en España existen varias empresas innovadoras que utilizan las matemáticas para optimizar sus ventas y liderar la revolución de la industria 4.0[40]. Por ejemplo, la *start-up* valenciana Boo-boo desarrolla nuevos algoritmos de inteligencia artificial para transformar la logística en una solución digital accesible para pequeñas y medianas empresas. Los usuarios pueden comparar diferentes alternativas de envío valorando aspectos más allá del precio, como la sostenibilidad del envío y el servicio de las empresas repartidoras[41]. Por otro lado, la catalana AIS Group utiliza el análisis de big data para explorar y analizar el comportamiento de los usuarios en internet y, a partir de estos, construye nuevos modelos de venta y recomendaciones. La tecnología desarrollada por esta empresa pretende ayudar a los pequeños comercios a aumentar sus ventas online, utilizando una tecnología que, hasta hace poco, estaba sólo al alcance de las grandes multinacionales[42].

Retos

Cómo mejorar la investigación multidisciplinar.

Las aportaciones de los grupos de trabajo convocados por la Comisión Europea se centraron en diversos asuntos. En primer lugar, los problemas inversos, ya que la disponibilidad de datos a menudo precede a los motivos para que se precisa su recolección. Así sucede en algunos ámbitos de las ciencias de la salud, como la tomografía, en la industria para probar la fiabilidad de las piezas de metal en aviones, por ejemplo, y en las ciencias actuariales y financieras, donde las probabilidades de riesgo pueden detectarse a partir de big data, pero los perfiles de riesgo deben identificarse inmediatamente después. Los expertos consultados abogan asimismo por desarrollar algoritmos para ampliar la toma de decisiones en situaciones de amenaza e incertidumbre y contribuir mejor con las matemáticas a la prevención del delito, el cambio climático, la migración, las epidemias y la defensa. En cuanto a la manipulación y el análisis de datos de imágenes, se da la circunstancia de que, mientras que los métodos de creación y reconstrucción mejoran continuamente, el análisis cuantitativo de los datos resultantes se queda todavía detrás.

Los sistemas de monitorización son también un desafío matemático muy actual. Europa asume la necesidad de seguir investigando en tecnologías de compresión para permitir la monitorización en tiempo real de grandes flujos de datos, mediante el uso de algoritmos eficientes para datos dispersos de alta dimensión. Es clave igualmente la investigación de nuevas formas más eficientes de combinar fuentes de datos, como la fusión de datos o inclusión de datos covariables. El objetivo es ser

capaces de manejar diferentes formas de datos incluidas las imágenes. Los métodos matemáticos son también necesarios para la validación, verificación y cuantificación de la incertidumbre, esenciales en procesos de medición o en el diseño de códigos informáticos complejos y costosos en tiempo de computación.

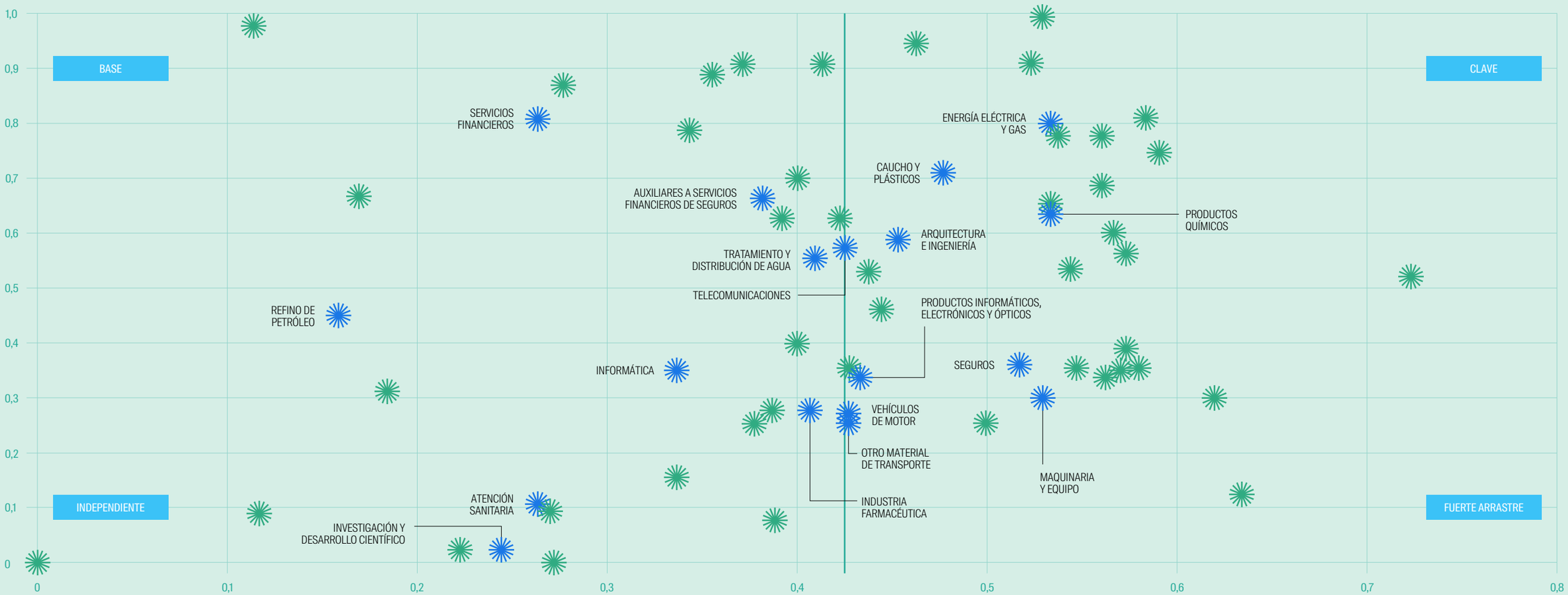
Los expertos también instan a la Comisión Europea (y a los gobiernos de los estados miembros) a promover la construcción de modelos y simulación de fenómenos naturales, así como la mejora de los procesos de ingeniería. La disponibilidad de recursos informáticos y grandes cantidades de datos contrasta con el hecho de que la mayoría de los fenómenos físicos de interés en la actualidad operan en grandes rangos de escala, lo que hace que los métodos computacionales convencionales simplemente sean inútiles. Se requiere de una nueva generación de métodos compatibles con la complejidad de la multifísica, que contempla dominios e interfaces multifase, altamente no lineales y en evolución. Otros desafíos para la matemática europea son el diseño de herramientas de modelado estocástico para comprender el mecanismo de las invasiones biológicas y estudiar las especies competitivas; la combinación del modelado basado en la física y en datos para crear productos y sistemas industriales; la biomatemática; o la posibilidad de integrar algoritmos de simulación en el producto, a modo de simulación interna, en lugar de depender de recursos limitados de computación de alto rendimiento, para no depender tanto de la nube.

De todo lo anterior se desprende cómo las matemáticas, la estadística y la informática se comunican entre sí. Según McKinsey, ahora la economía y la sociología intervienen en esta conversación: hay mucha más interacción entre las ciencias sociales y se necesitará a personas, empresas e instituciones que puedan ayudar a convertir esa interrelación en mayores beneficios para los ciudadanos[43]. Manuel de León, experto de la Fundación Rafael del Pino, también aboga por una aproximación colaborativa y multidisciplinar, que deje atrás la investigación compartimentada. Sólo gracias a este tipo de colaboraciones lograremos que España se posicione como un líder en este sector y haga frente a los retos del futuro[44].

Fuente: Afi.

FIGURA 5.

EFECTO TRACTOR DE LAS MATEMÁTICAS. LAS MATEMÁTICAS PUEDEN IMPULSAR EL DESARROLLO DE DISTINTAS INDUSTRIAS. POR EJEMPLO, LA CREACIÓN DE NUEVOS ALGORITMOS DE CRIPTOGRAFÍA POTENCIARÁ LOS SERVICIOS FINANCIEROS, LAS CRIPTOMONEDAS Y LA BANCA ONLINE, Y LOS MODELOS MATEMÁTICOS PERMITIRÁN UN USO MÁS EFICIENTE DE NUESTROS RECURSOS Y EL DESARROLLO DE UNA INDUSTRIA ENERGÉTICA MÁS SOSTENIBLE.



Javier García Martínez

Conclusiones

España lidera iniciativas pioneras en investigación matemática y desarrollo de modelos, gracias al trabajo de las universidades y el CSIC. Sin embargo, la importancia de las matemáticas en nuestra economía todavía está muy por debajo de otros países europeos. Varios estudios estiman que el empleo para matemáticos, estadísticos e informáticos seguirá creciendo a pasos agigantados durante los próximos años, gracias al desarrollo del big data y la inteligencia artificial. Por lo tanto, ahora es el momento de invertir en desarrollo y transferencia, así como fomentar la creación de iniciativas transversales e interdisciplinares que puedan situar a España en una posición competitiva. Las matemáticas son una garantía de crecimiento económico, especialmente en una sociedad cada vez más digitalizada y dominada por las compras online y las criptomonedas.



1. CASIO (2019). **“La importancia de las matemáticas en la vida cotidiana.”** Consultado el 27 de marzo de 2021.

2. De León, M. **“El valor económico de las matemáticas.”** Madri+d Blogs, 8 de mayo de 2013. Consultado el 27 de marzo de 2021.

3. González López-Valcárcel, B. et al. **“COVID-19: pandemia de modelos matemáticos.”** The Conversation, 24 de abril de 2020. Consultado el 27 de marzo de 2021.

4. Massonnaud, C. et al. **“COVID-19: Forecasting short term hospital needs in France.”** ***MedRxiv,*** 20 de marzo de 2020. Consultado el 27 de marzo de 2021.

5. Statista (2019). **“Number of internet of things (IoT) connected devices worldwide in 2018, 2025 and 2030.”** Consultado el 27 de marzo de 2021.

6. University of California Berkeley (n.d.). **“Communications.”** Consultado el 27 de marzo de 2021.

7. The Royal Observatory, Edinburgh (n.d.). **“Compression of data using Fourier methods.”** Consultado el 27 de marzo de 2021.

8. Adobe (n.d.). **“When to use RAW vs. JPEG.”** Consultado el 27 de marzo de 2021.

9. Trueman, C. **“Why data centres are the new frontier in the fight against climate change.”** Computer World, 9 de Agosto de 2019. Consultado el 27 de marzo de 2021.

10. Lynch, P. **“How Joseph Fourier discovered the greenhouse effect.”** The Irish Times, 21 de marzo de 2019. Consultado el 27 de marzo de 2021.

11. Rovinska, P. y Bendall, Tom. **“Seven ways maths can save the world.”** Grantham Institute, 31 de mayo de 2016. Consultado el 2 de abril de 2021.

12. Población Sáez, A.J. “**¿Pero qué son las ondículas y por qué han ganado el «nobel» de matemáticas?”** ABC, 28 de marzo de 2017. Consultado el 27 de marzo de 2021.

13. National Academy of Sciences (2001). **“Wavelets: seeing the forest and the trees.”** Consultado el 27 de marzo de 2021.

14. Gamulkiewicz, B. y Weeks, M. **“Wavelet based speech recognition.”** ***IEEE,*** 27 de diciembre de 2003. Consultado el 27 de marzo de 2021.

15. **“Yves Mayer awarded Abel Prize.”** Notices of the AMS, 2017, 64 (6), pp. 592-594.

16. Fundación Princesa de Asturias (2020). **“Premio Princesa de Asturias de Investigación Científica y Técnica 2020.”** Consultado el 27 de marzo de 2021.

17. Knudson, K. **“Better Medical Imaging Through Mathematics.”** Forbes, 16 de agosto de 2015. Consultado el 27 de marzo de 2021.

18. Martín, A. **“Las matemáticas, el bisturí desconocido de los médicos.”** El Español, 8 de abril de 2017. Consultado el 27 de marzo de 2021.

19. CDC (2020). **“Forecasting.”** Consultado el 27 de marzo de 2021.

20. Kermack, W.O. y McKendrick, A.G. “**A contribution to the Mathematical Theory of Epidemics.”** ***Royal Society Proceedings,*** 1927, pp. 700-721.

21. Siglas de siglas de “susceptible, infectado, recuperado.” Para más información, ver: Jacob, P. **“SIR models with Kermack and McKendrick.”** Satisfaction, 9 de abril de 2020. Consultado el 27 de marzo de 2021.

22. Eisenberg, J. **“Qué es el R0, el número que siguen los científicos para ver la intensidad del coronavirus.”** The Conversation, 6 de mayo de 2020. Consultado el 27 de marzo de 2021.

23. Herriot-Watt University (2020). **“Researchers develop mathematical model to predict the spread of airborne diseases.”** Consultado el 27 de marzo de 2021.

24. Zafra, M. y Salas, J. **“Un salón, un bar y una clase: así contagia el coronavirus en el aire.”** El País, 28 de octubre de 2021. Consultado el 27 de marzo de 2021.

25. CIRES / Universidad de Colorado (2020). **“COVID-19 Airborne Transmission Tool Available.”** Consultado el 27 de marzo de 2021.

26. UPC (2020). **“COVID actual.”** Consultado el 27 de marzo de 2021.

27. Díez-López, N. **“El CEMat lanza la iniciativa Acción Matemática contra el Coronavirus.”** RSME, 27 de marzo de 2020. Consultado el 27 de marzo de 2021.

28. Rivest, R. et al. “**A Method for Obtaining Digital Signatures and Public-Key Cryptosystems.”,** MIT, abril de 1977. Consultado el 27 de marzo de 2021.

29. Xataka (2019). **“La criptografía de curvas elípticas, segura mientras la computación cuántica lo permita.”** Consultado el 27 de marzo de 2021.

30. Afi y REM (2019). **“Impacto socioeconómico de la investigación y la tecnología matemáticas en España.”** Consultado el 27 de marzo de 2021.

31. REM (2019) **“Estudios sobre producción matemática española: Impacto científico y reemplazo generacional.”** Consultado el 27 de marzo de 2019.

32. EPSRC (n.d.). **“Mathematical sciences research.”** Consultado el 27 de marzo de 2021.

33. Pigenet, Y. **“Les maths dopent l’économie française.”** CNRS – Le Journal, 27 de mayo de 2015. Consultado el 27 de marzo de 2021.

34. Deloitte (2014). **“Mathematical sciences and their value for the Dutch economy.”** Consultado el 27 de marzo de 2021.

35. Fundación Ramón Areces (2020). **“El impacto socioeconómico de la Matemática en España.”** Consultado el 27 de marzo de 2021.

36. Comisión Europea (2020). **“Facing the Digital Transformation: are Digital Skills Enough?”** Consultado el 27 de marzo de 2021.

37. **US Bureau of Labor Statistics,** Oficina de Estadística Laboral de los EE. UU.

38. USBLS (2020). **“Ocupational outlook handbook: Mathematicians and statisticians.”** Consultado el 27 de marzo de 2021.

39. Comisión Europea (2016). **“Mathematics for Europe.”** Consultado el 27 de marzo de 2021.

40 E3 (2019). **“Las empresas explican cómo han mejorado gracias a las matemáticas.”** Consultado el 2 de abril de 2021.

41. **“Una startup española y su sistema de IA para digitalizar la logística y darle sostenibilidad.”** Cinco Días, 19 de noviembre de 2020. Consultado el 2 de abril de 2021.

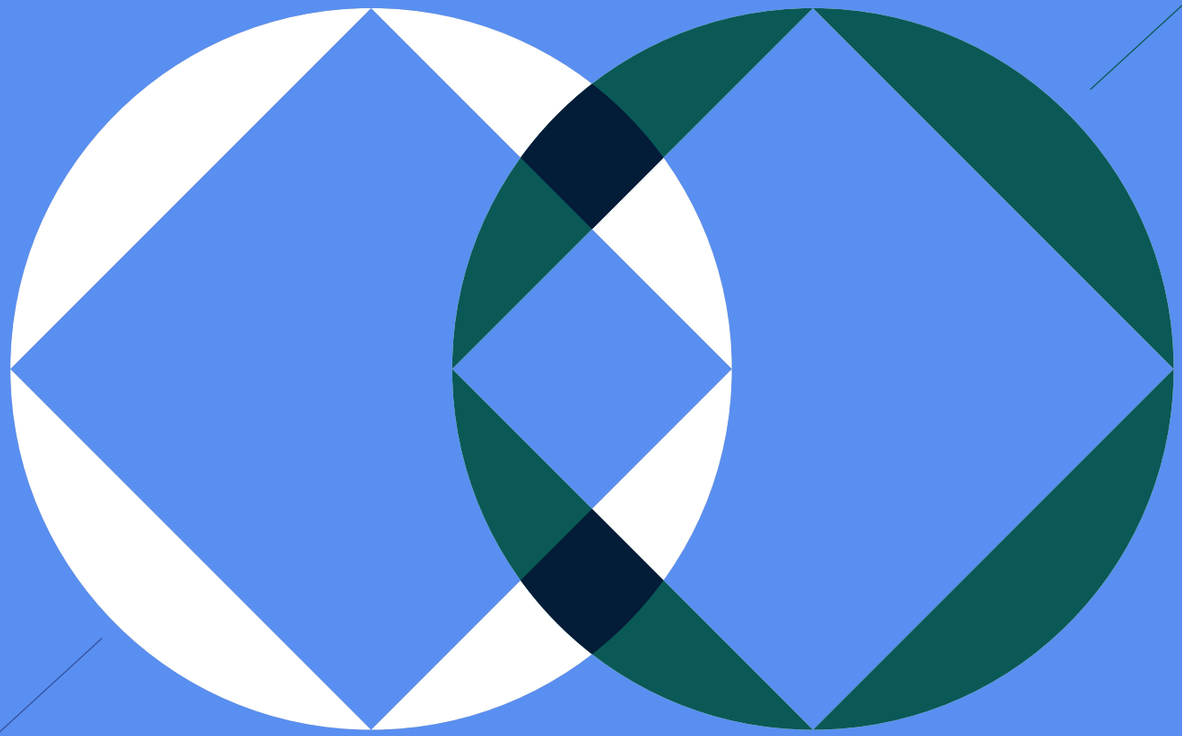
42. Ibáñez, C. **“La inteligencia artificial de esta startup española te ayuda a vender más por internet.”** El Español, 21 de diciembre de 2020. Consultado el 2 de abril de 2021.

06.

Realidad aumentada

Mejorar la productividad y enriquecer
la experiencia de usuario.

/ Mejora educativa y formativa
/ Revolución en el ocio
/ Aplicaciones prácticas
sanidad y arquitectura



/ Comercio digital experiencial
/ Mejora teletrabajo

En clave

La realidad aumentada combina distintas herramientas digitales para ampliar la información que recibimos por medio de los sentidos a través de nuevos elementos generados por ordenador. Además de crear grandes oportunidades en el mundo de la navegación asistida y los videojuegos, la realidad aumentada va camino de convertirse en una tecnología fundamental, tan ubicua como los televisores, los teléfonos inteligentes y la conexión a internet. La realidad aumentada está transformando nuestra forma de comprar y de vivir experiencias y, además, y mejorando la productividad de nuestras empresas. También son muy atractivas sus aplicaciones en educación y medicina, dos campos donde la realidad aumentada todavía tiene mucho sitio para seguir creciendo.

La tecnología

Más allá de capturar Pokémon: realidad aumentada para ampliar nuestras experiencias.

La realidad aumentada es una tecnología que permite enriquecer la información del mundo físico mezclando nuestras experiencias sensoriales con la introducción de elementos virtuales. Uno de los ejemplos más conocidos sea, tal vez, el videojuego Pokémon GO, un programa que animaba a salir a la caza de criaturas imaginarias escondidas en nuestro entorno. Este videojuego, que batió todo tipo de récords, utiliza la realidad aumentada para hacer aparecer a las criaturas Pokémon en localizaciones reales como parques, estadios y supermercados[1]. Pero las posibilidades de la realidad aumentada van mucho más allá de los videojuegos, como veremos más adelante. Para el presidente de Apple, Tim Cook, la realidad aumentada será la próxima gran revolución tecnológica, como fueron los teléfonos móviles inteligentes a comienzos de los años 2000[2]. En unos años, dice Cook, nos preguntaremos cómo hemos podido vivir tantos años sin realidad aumentada, será una tecnología fundamental en nuestras vidas[3].

La realidad aumentada la imaginó por primera vez un novelista americano: Lyman Frank Baum. Este autor, conocido por imaginar el maravilloso mundo de Oz, también es famoso por anticipar avances como la televisión, los ordenadores portátiles o los teléfonos móviles. En su novela *'La llave maestra'*, Baum imagina unas gafas con propiedades muy similares a la realidad aumentada: "cuando las llevas puestas, verás aparecer

Fuente: Dreamstime

FIGURA 1.

¿QUÉ ES LA REALIDAD AUMENTADA? EN LA REALIDAD AUMENTADA, LOS OBJETOS VIRTUALES SE ENTREMEZCLAN CON EL MUNDO REAL. MUCHOS MÓVILES Y TABLETAS YA INCORPORAN ESTA TECNOLOGÍA DE MANERA NATIVA Y SON CAPACES DE MOSTRAR OBJETOS VIRTUALES DIRECTAMENTE EN APLICACIONES COMO LA CÁMARA DE FOTOS. OTROS SERVICIOS REQUIEREN APLICACIONES ADICIONALES, Y APROVECHAN LAS VENTAJAS DE LA REALIDAD AUMENTADA PARA MEJORAR LOS SERVICIOS DE COMPRA, CREAR EXPERIENCIAS EDUCATIVAS COMPLETAS E, INCLUSO, MEJORAR LA PRODUCTIVIDAD EN PROCESOS INDUSTRIALES.

¿QUÉ ES LA REALIDAD AUMENTADA?



¿CÓMO SE EXPERIMENTA LA REALIDAD AUMENTADA?



VALOR AÑADIDO DE LA REALIDAD AUMENTADA



DESARROLLO DE LA REALIDAD AUMENTADA



+100%

INGRESOS Y VIGILANCIA GENERADOS POR LA TECNOLOGÍA AR



una letra en la frente de las personas indicativa de su carácter. (...) De un vistazo, podrás determinar el verdadero carácter de la gente[4].” Durante el siglo XX, encontramos otros ejemplos como este en novelas, películas y obras de teatro. Sin embargo, el término ‘realidad aumentada’ no aparece hasta principios de los años 90, cuando dos ingenieros de Boeing imaginan un sistema digital para ayudar a los obreros en la cadena de montaje. Entonces, Tom Caudell y David Mizell imaginaron una pantalla semitransparente que mostraba indicaciones durante la instalación de las piezas, para evitar las pérdidas de tiempo generadas al consultar e interpretar las instrucciones. Ya en 1992, Louis Rosenberg creó ‘Virtual Fixtures’, un sistema de realidad aumentada diseñado para controlar robots y otros aparatos de forma remota. Pero la realidad aumentada todavía tardó varios años en popularizarse. En 1999 empezó a utilizarla la NASA, creando un sistema de navegación que superponía información geográfica y técnica en el campo visual del piloto[5]. Y, un año después, se lanzó al mercado el primer videojuego con realidad aumentada: ARQuake, en el que era posible enfrentarse con enemigos virtuales gracias a unas gafas adaptadas, un ordenador portátil y un sistema GPS[6]. Este equipo pesaba casi 16 kilos; hoy todos nuestros teléfonos móviles incorporan sistemas de realidad aumentada en un dispositivo de apenas 150 gramos, como se describe más adelante.

Es importante diferenciar entre realidad aumentada y realidad virtual, dos conceptos que, a pesar de ser radicalmente distintos, se confunden a menudo. La realidad virtual te aísla por completo del mundo real, encerrándote en un entorno generado completamente por ordenador. Por eso, los dispositivos de realidad virtual suelen tapar tanto los ojos como los oídos, para sumergir al usuario en un espacio ficticio. Las aplicaciones de la realidad virtual son muy interesantes. Además de los videojuegos, existen aplicaciones muy atractivas en turismo, educación[8] y sanidad[9]. Para Tim Cook, esta experiencia es muy sugestiva, pero tiene un potencial económico mucho menor que la realidad aumentada. Esta, al contrario que la realidad virtual, no aísla al usuario del mundo real, porque poder interaccionar con el entorno es la clave de la tecnología. Combinando el poder de las cámaras, los microprocesadores y las pantallas, la realidad aumentada complementa nuestro alrededor con objetos e información digital[10]. Gracias a la realidad aumentada, el mundo virtual se entremezcla con el real de una forma inteligente y contextualizada, con el objetivo de ofrecernos más información y comprensión sobre todo lo que nos rodea. Podemos imaginar a médicos observando los resultados de los diagnósticos de imagen mientras operan, a operarios siguiendo instrucciones y planos interactivos y viajes en coche donde los avisos de seguridad y las instrucciones de los mapas GPS aparezcan directamente sobre el parabrisas[11]. La realidad aumentada añade capas de información sensorial que amplían nuestro conocimiento y complementan nuestras decisiones en tiempo real. Además de realidad aumentada y realidad virtual, también existen conceptos como la realidad mixta y la realidad extendida, que aglutinan varias tecnologías al mismo tiempo para ofrecer diferentes experiencias de usuario. A menudo estos entornos digitales te permiten disfrutar de lo mejor de dos mundos y, por ejemplo, interactuar con objetos reales mientras exploras un escenario totalmente virtual. Empresas como Microsoft están estudiando implantar esta tecnología en sus sistemas operativos[12], y la española Sngular desarrolla estrategias de realidad mixta para potenciar las fortalezas de diferentes negocios, mejorar sus sistemas de seguridad y crear nuevos procesos más productivos gracias a interacciones hombre-máquina innovadoras[13].

Fuente: Onirix[7].

FIGURA 2.

LA HISTORIA DE LA REALIDAD AUMENTADA. EL CONCEPTO DE REALIDAD AUMENTADA APARECE POR PRIMERA VEZ EN UNA NOVELA DE L. F. BAUM, EL CREADOR DEL MAGO DE OZ. A PARTIR DE LOS AÑOS 1990, ESTA TECNOLOGÍA COMENZÓ A INVADIR NUESTRAS VIDAS, TRANSFORMANDO LA FORMA EN LA QUE INTERACTUAMOS CON NUESTRO ENTORNO PARA SIEMPRE.

1901

SE MENCIONA POR PRIMERA VEZ LA REALIDAD AUMENTADA EN UNA NOVELA DE **L.F. BAUM,** EL AUTOR DE EL MAGO DE OZ.

1901-2007

LAS MENCIONES A LA REALIDAD AUMENTADA CONTINÚAN APARECIENDO EN LIBROS, **PELÍCULAS** Y **OBRAS DE TEATRO.**

2007

LANZAMIENTO DEL PRIMER **IPHONE,** SEGUIDO DE UN RÁPIDO DESARROLLO DE TECNOLOGÍAS DE REALIDAD AUMENTADA.

2008

LANZAMIENTO DE LA PRIMERA CAMPAÑA PUBLICITARIA CON REALIDAD AUMENTADA, PROMOVIDA POR **BMW** PARA PROMOCIONAR EL **MINI.**

mayo 2019

GOOGLE ANUNCIA MODELOS DE REALIDAD AUMENTADA COMO PARTE DE SUS RESULTADOS DE **BÚSQUEDA.**

2016

EL GRAN ÉXITO DE **POKÉMON GO** HACE CRECER LA FIEBRE POR LA REALIDAD AUMENTADA, MUCHO MÁS ALLÁ DEL MUNDO DE LOS VIDEOJUEGOS.

septiembre 2015

SNAPCHAT LANZA SUS FILTROS PARA SELFIES. LA POPULARIDAD DE ESTA HERRAMIENTA REVELA EL INTERÉS DEL GRAN PÚBLICO POR LA REALIDAD AUMENTADA Y DEMUESTRA SU USO EXTREMADAMENTE SENCILLO Y ACCESIBLE.

abril 2015

GOOGLE LANZA UN PROTOTIPO DE GAFAS DE REALIDAD AUMENTADA, LAS **GOOGLE GLASS,** EL PRIMER DISPOSITIVO WEARABLE DE REALIDAD AUMENTADA.

Fuente: SoftwareOne.

FIGURA 3.

DIFERENCIAS ENTRE REALIDAD VIRTUAL, AUMENTADA Y MIXTA. EN ESTA GRÁFICA SE REPRESENTAN LAS DIFERENCIAS ENTRE LA REALIDAD VIRTUAL (QUE OFRECE UN ENTORNO COMPLETAMENTE DIGITAL), LA REALIDAD AUMENTADA (QUE COMBINA EL MUNDO REAL CON INFORMACIÓN CREADA DE MANERA VIRTUAL) Y LA REALIDAD MIXTA, DONDE SE APROVECHAN AMBAS TECNOLOGÍAS PARA QUE EL USUARIO INTERACTÚE CON OBJETOS TANTO FÍSICOS COMO VIRTUALES.

REALIDAD VIRTUAL (VR)



ENTORNO TOTALMENTE DIGITAL



EXPERIENCIA TOTALMENTE CERRADA Y SINTÉTICA, SIN RECIBIR INFORMACIÓN DEL MUNDO REAL

REALIDAD AUMENTADA (AR)



IMÁGENES DEL MUNDO REAL CON INFORMACIÓN DIGITAL SUPERPUESTA

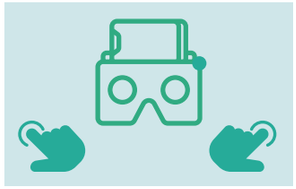


EL MUNDO REAL ES EL CENTRO DE LA EXPERIENCIA, AUNQUE LO MEJORAN ALGUNOS DETALLES AÑADIDOS POR ORDENADOR

REALIDAD MIXTA (MR)



LA REALIDAD VIRTUAL Y AUMENTADA SE ENTREMEZCLAN



SE PUEDE INTERACTUAR Y MANIPULAR OBJETOS TANTO REALES COMO VIRTUALES





Oportunidades

Una tecnología atractiva para educadores, vendedores e industrias innovadoras.

Desde el lanzamiento de los primeros teléfonos móviles, la realidad aumentada comenzó a invadir nuestro día a día. La mayoría de los teléfonos Apple, por ejemplo, incorporan una herramienta digital que permite medir objetos del mundo real utilizando tecnologías de realidad aumentada[14]. Otras aplicaciones, como Snapchat e Instagram, aprovechan las ventajas de la realidad aumentada y el reconocimiento facial para ofrecer filtros para personalizar nuestras fotos, vídeos y contenido multimedia[15]. Estas funciones se han vuelto especialmente populares en 2020, gracias al auge de las aplicaciones de teleconferencia, que utilizan estos mismos filtros digitales para difuminar y personalizar el fondo de las videollamadas. En los últimos años, además de videojuegos como Pokémon GO, han aparecido también aplicaciones que aprovechan la realidad aumentada para sustituir a los planisferios y ofrecer una experiencia totalmente diferente para observar el cielo nocturno, identificar objetos celestes y estudiar astronomía[16]. Y Google, a través de sus aplicaciones Google Translate y Google Lens permite traducir textos (como carteles, menús y señales de tráfico) en tiempo real[17]. Pero, gracias a los avances en tecnologías de imagen y velocidad de procesamiento de los nuevos teléfonos móviles, las posibilidades de la realidad aumentada llegan mucho más lejos.

Por ejemplo, cada vez hay más aplicaciones para aprovechar la realidad aumentada en el terreno de la educación. Hay aplicaciones que permiten convertir libros de texto en contenido multimedia, un simple escaneo con el móvil y las palabras impresas se convierten en vídeos interactivos, imágenes complementarias, infografías e incluso figuras en 3D. Google está experimentando con estas funciones para crear visualizaciones a tamaño real de más de cincuenta animales salvajes[19]. Y la empresa catalana OneBigRobot desarrolló, junto a WWF, la aplicación ‘Free Rivers’, que utiliza la realidad aumentada para educar sobre hidrología y, en concreto, el impacto de la creación de presas artificiales en ciertos hábitats y comunidades. Apple destacó el potencial de este programa gratuito en una de sus presentaciones públicas, acelerando el éxito de la plataforma y multiplicando el número de descargas[20]. Otro caso de éxito proviene de la Universidad de La Rioja, donde un grupo de investi-

gadores y educadores crearon un juego interactivo para enseñar química a alumnos de primaria. Gracias a la realidad aumentada, el juego logra explicar conceptos complicados y difíciles de visualizar como la estructura atómica, la formación de moléculas y las reacciones químicas[21]. Otros ejemplos incluyen aplicaciones que permiten dibujar objetos e incorporarlos en el mundo real, crear juegos de geolocalización e ingenio interactivos (como búsquedas del tesoro, *'escape rooms'* y rompecabezas) e incluso crear representaciones virtuales de objetos geométricos para mejorar la enseñanza de las matemáticas[22].

Cada vez más marcas incorporan funciones de realidad aumentada, tanto en sus tiendas físicas como virtuales, para transformar las experiencias de compra.

La realidad aumentada también se ha convertido en la aliada perfecta del márquetin y las ventas. Cada vez más marcas incorporan funciones de realidad aumentada tanto en sus tiendas físicas como virtuales para transformar las experiencias de compra. Destacan, entre otros, el proyecto de IKEA, que permite al usuario visualizar el aspecto y la colocación de los muebles antes de comprarlo; el asistente virtual de Rolex, que hace posible probar cómo quedan en tu muñeca diferentes combinaciones de relojes y correas sin salir de casa; o la nueva aplicación de Sephora que permite probarse diferentes tipos de maquillaje de forma simulada[23]. Por supuesto, las empresas tecnológicas lideran el cambio: Apple, por ejemplo, ya envía todas sus invitaciones a eventos de prensa con gráficos interactivos[24] y hace visibles sus nuevos lanzamientos 'en persona' gracias a la realidad aumentada[25]. Y Microsoft, por su parte, también incluye experiencias de realidad aumentada en sus tiendas físicas para señalar ofertas y promociones, así como para ampliar la información sobre las características de sus productos[26]. Microsoft también comercializa HoloLens, un dispositivo que combina realidad virtual y realidad aumentada para ampliar las posibilidades de los espacios de trabajo y las industrias. HoloLens permite instalar paquetes de software adaptados a diferentes necesidades, como soporte técnico, seguimiento interactivo de instrucciones, visualización 3D de escáneres médicos y ejercicios de entrenamiento para empleados[27]. La última actualización de HoloLens, además, adapta el dispositivo para su uso en ambientes controlados, como salas blancas para la fabricación de microelectrónica y laboratorios que requieren altos niveles de bioseguridad donde se desarrollan y evalúan nuevos fármacos[28].

Por último, cada vez más tiendas de moda y accesorios se suben al carro de la realidad aumentada[29], ofreciendo desde nuevas soluciones interactivas para comprar desde casa hasta tecnologías avanzadas en las tiendas, como los probadores virtuales donde puedes tantear diferentes estilos sin perder apenas tiempo[30]. Además, las marcas también estudian las oportunidades de la realidad aumentada para mejorar sus estrategias de publicidad, mediante la creación de anuncios y folletos interactivos. Según los expertos, estas nuevas experiencias tienen un enorme potencial para atraer a los consumidores y conseguir una fidelidad mucho más alta que las soluciones convencionales. También hay varias empresas líderes, como Volkswagen y Bosch-Siemens, que estudian nuevas formas de implementar la realidad aumentada en sus procesos logísticos, para idear maneras más eficientes de colocar, transportar y almacenar sus mercancías. Gracias a la realidad aumentada, los trabajadores consiguen una precisión más alta y una eficiencia mayor, acelerando el crecimiento económico de la empresa[31].

Treinta años después, el sueño de los ingenieros de Boeing se ha hecho realidad. Actualmente, esta empresa americana utiliza la realidad aumentada para entrenar y educar a sus ingenieros, así como para controlar procesos de calidad y productividad en las cadenas de montaje. Según un estudio interno de Boeing, las tecnologías de realidad aumentada ahorran hasta un 35% de tiempo comparadas con la documentación tradicional en manuales. Además, demostraron que sus programas de realidad aumentada permiten realizar operaciones complejas a ingenieros sin apenas experiencia, mejorando el rendimiento en casi un 90%[32].

Fuente: Iberdrola[18].

FIGURA 4.

DIEZ APLICACIONES DE LA REALIDAD AUMENTADA. ESTE GRÁFICO RECOGE ALGUNAS DE LAS APLICACIONES MÁS ATRACTIVAS DE LA REALIDAD AUMENTADA, DESDE SU POTENCIAL PARA TRANSFORMAR LA CIRUGÍA HASTA LAS APLICACIONES INTELIGENTES QUE FACILITAN LA TRADUCCIÓN INSTANTÁNEA DE CONTENIDOS, IDEALES PARA VIAJAR POR TODO EL MUNDO.



Fuente: IBM.

FIGURA 5.

EL ENORME POTENCIAL DE LA REALIDAD AUMENTADA EN LOS COMERCIOS. IBM ESTIMA UN GRAN POTENCIAL PARA LAS TECNOLOGÍAS DE REALIDAD AUMENTADA EN EL COMERCIO, UN CAMPO DONDE SE ESTÁ EXPLORANDO ESTA TECNOLOGÍA CON FORMATOS COMO LOS PROBADORES VIRTUALES, LOS FOLLETOS INTERACTIVOS, LAS APLICACIONES QUE SIMULAN NUEVOS ESTILOS (PEINADOS, MAQUILLAJE, GAFAS) Y NUEVAS SOLUCIONES REALISTAS PARA EL DISEÑO DE INTERIORES.





Retos

Acelerar el desarrollo de tecnologías para competir con EE.UU. y China.

Los grandes analistas del mercado ya no ocultan su interés por el potencial de crecimiento de la realidad aumentada, que se prevé muy superior al de la realidad virtual, pese a que ésta se ha llevado la mayoría de los titulares los últimos años. PwC es probablemente la que va más lejos al vaticinar que ambas tecnologías inyectarán al PIB mundial 1.5 billones de dólares en 2030[33]. Reparte esa cifra en varias partidas, con referencias explícitas en muchas de ellas a la realidad aumentada. Así, el desarrollo de productos y servicios alcanzará los 359.400 millones, y el cuidado de la salud, 350.900 millones. En este último ámbito se anuncian gafas de realidad aumentada capaces de superponer escaneos y rayos X en el cuerpo de un paciente o sistemas para ver los resultados y los datos de las pruebas médicas junto a la cama del enfermo, y no en un ordenador o en las notas de un papel.

En desarrollo personal y formación, PwC estima que se generarán 294.200 millones de dólares, y en mejoras de procesos la realidad aumentada aportará 275.000 millones. Los ingenieros y técnicos recibirán información como diagramas de reparación mediante una interfaz, y en el sector de la logística, las gafas inteligentes mostrarán instrucciones de selección y reconocimiento para el trabajador, destacando la ubicación, los detalles del producto y las instrucciones de empaquetado. En el ámbito minorista y de consumo, la realidad aumentada impulsará el PIB mundial en 204.000 millones dentro de una década.

Todas estas estimaciones, no obstante, podrían quedarse cortas, porque el escenario tecnológico y de casos de uso tiene que recibir todavía el impacto del 5G, que reducirá la dependencia de la potencia de procesamiento y el almacenamiento en los dispositivos actuales, reduciendo costes. Algo parecido, aunque en planos diferentes, a lo que sucederá con el diseño, desarrollo y entrega de los sistemas físicos, que también se abaratarán gracias a una mayor estandarización de plataformas y servicios.

Ante este escenario, el consorcio XR4All, promovido por la Comisión Europea estima que Asia será la región líder del mercado en 2022. Serán principalmente China, Japón y Corea del Sur los países que captarán el 51% de los ingresos. A continuación, se situarán Estados Unidos y Europa casi al mismo nivel, aunque la partida de ingresos se inclinará ligeramente hacia la segunda, con el 25% frente al 17%[34]. En clave geoestratégica hay un dato abrumador que permite vislumbrar la evolución a futuro: entre el tercer trimestre de 2018 y el segundo de 2019, las empresas chinas invirtieron en estas tecnologías 2,5 veces más que sus homólogas norteamericanas[35]. Otro indicio claro lo aporta el uso de realidad aumentada en móviles; a finales de 2020 se estimaba que esta tecnología estaba presente en 598 millones de dispositivos activos, pero se proyecta que sean 1.730 millones en 2024[36]. Precisamente el crecimiento de los dispositivos, el aumento de la capacidad del hardware y la mayor disponibilidad de los teléfonos móviles son tres fortalezas de Europa para defender su posición en este mercado, tras haber cedido el liderazgo en patentes a EE.UU. y China, a juicio de Eurofund[37].

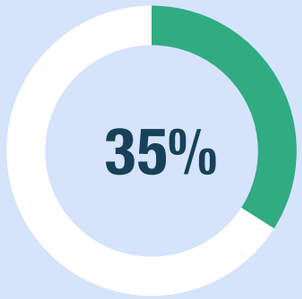
El reparto de papeles explicaría esta diferente evolución: la realidad virtual, debido a una infraestructura instalada más pequeña, a su menor movilidad y a la inmersión exclusiva, se centra más en casos de uso de entretenimiento y flujos de ingresos, como juegos, ocio basado en la ubicación, vídeo y hardware relacionado; mientras que la realidad aumentada se basa más en el comercio electrónico, la publicidad, aplicaciones empresariales y el hardware relacionado.

Fuente: Technavio.

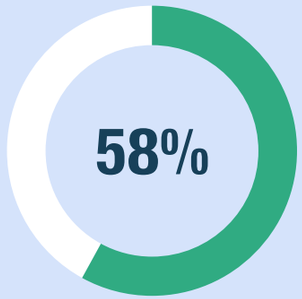
FIGURA 6.

EL MERCADO DE LA REALIDAD AUMENTADA. SEGÚN TECHNAVIO, EL MERCADO GLOBAL DE LA REALIDAD AUMENTADA CRECERÁ ANUALMENTE UN 35% HASTA 2024. ESTO SUPONDRÁ UN AUMENTO DE MÁS DE 125.000 MILLONES DE DÓLARES, DISTRIBUIDOS ENTRE DIFERENTES SECTORES INTERESADOS EN ESTA TECNOLOGÍA.

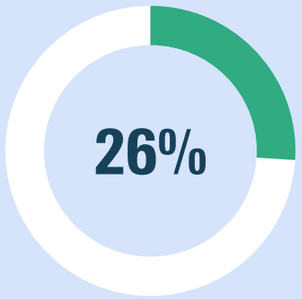
MERCADO GLOBAL DE REALIDAD VIRTUAL Y AUMENTADA ENTRE 2020 Y 2024.



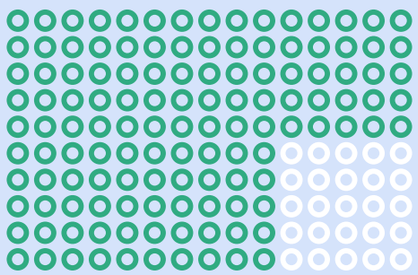
EL MERCADO SE ACELERARÁ A UNA TASA DE CRECIMIENTO ANUAL COMPUESTO DE MÁS DEL 35%.



DE LOS CONSUMIDORES EN EUROPA, ORIENTE MEDIO Y ÁFRICA UTILIZARÍAN AR PARA REALIZAR UN RECORRIDO POR UN DESTINO.



CRECIMIENTO PARA 2020



125,19 B$

VISITARÍAN O REALIZARÍAN UN RECORRIDO POR UN DESTINO

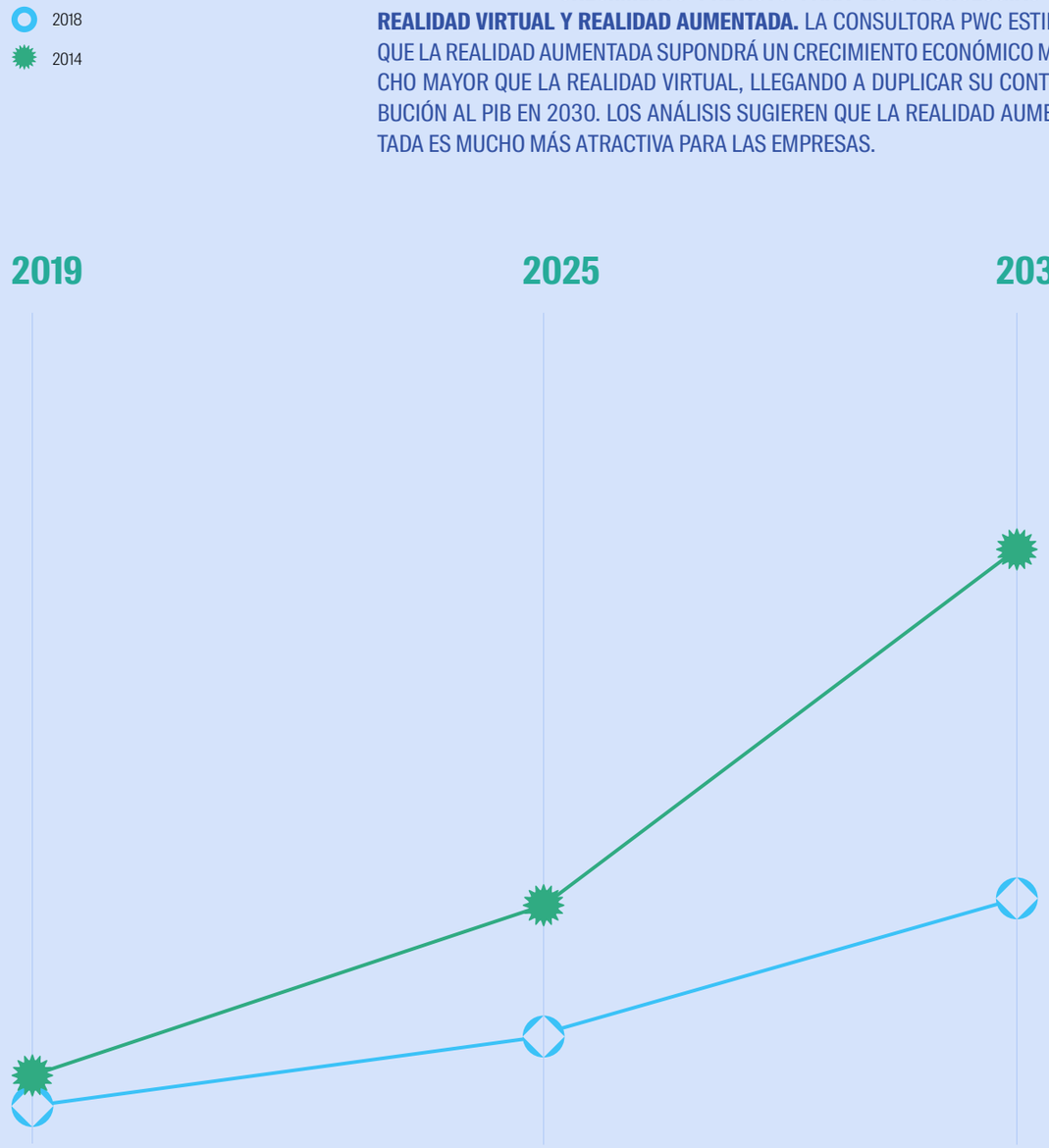
EL MERCADO ESTÁ FRAGMENTADO, CON MUCHOS SECTORES INTERESADOS.

IMPACTO EN EL MERCADO: **POSITIVO**

Fuente: Pwc.

FIGURA 7.

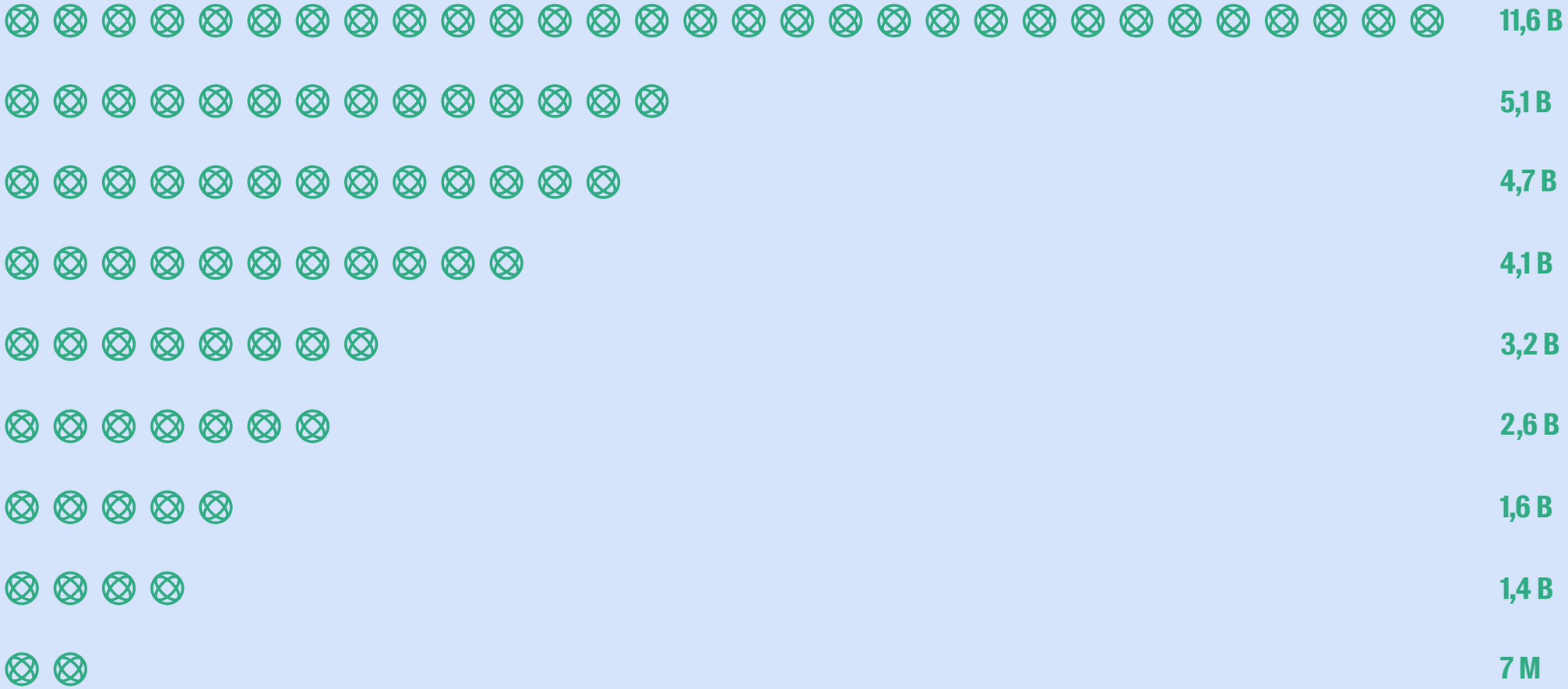
CRECIMIENTO PREVISTO PARA LAS TECNOLOGÍAS DE REALIDAD VIRTUAL Y REALIDAD AUMENTADA. LA CONSULTORA PWC ESTIMA QUE LA REALIDAD AUMENTADA SUPONDRÁ UN CRECIMIENTO ECONÓMICO MUCHO MAYOR QUE LA REALIDAD VIRTUAL, LLEGANDO A DUPLICAR SU CONTRIBUCIÓN AL PIB EN 2030. LOS ANÁLISIS SUGIEREN QUE LA REALIDAD AUMENTADA ES MUCHO MÁS ATRACTIVA PARA LAS EMPRESAS.



Fuente: IBM/Lumus Vision.

FIGURA 8.

PREVISIÓN DE VENTAS DE DISPOSITIVOS DE REALIDAD AUMENTADA. EN 2025, LA INDUSTRIA DE LA REALIDAD AUMENTADA GENERARÁ GRANDES INGRESOS. AUNQUE LOS VIDEOJUEGOS LIDERARÁN LAS VENTAS, OTROS SECTORES TAMBIÉN INVERTIRÁN MUCHO EN ESTAS TECNOLOGÍAS, COMO EL SECTOR SANITARIO, LA INGENIERÍA Y LA INDUSTRIA DEL TURISMO Y EL OCIO.



Parece que, efectivamente, el futuro ya está aquí[38]. Las herramientas *ARKit* de Apple y *ARCode* de Google ya convencen a los desarrolladores. En el sector comercial, se espera que el negocio de los probadores virtuales alcance los 10.000 millones de dólares en 2027, algo que la pandemia de la COVID-19 hace más creíble, y lo corrobora un informe de IBM y la asociación de vendedores de EE.UU., que indica que un 41% de los usuarios está interesado en utilizarlos[39]. Será clave, en ese ámbito y en general en la mayoría de casos de usos futuros de la realidad aumentada, el desarrollo de la inteligencia artificial, que interpretará la imagen del usuario, la relacionará con otros datos disponibles e interactuará con él en tiempo real con sistemas de reconocimiento del lenguaje. Una posibilidad que no sólo se contempla ya para las ventas, sino también para la práctica médica.

En el sector comercial, se espera que el negocio de los probadores virtuales alcance los 10.000 millones de dólares en 2027.

Es evidente también el potencial de la realidad aumentada para navegación en interiores mediante el uso de patrones de radiofrecuencia como las redes WiFi y también para el teletrabajo en sus diversas facetas, desde la puramente administrativa hasta la reparación a distancia. Hay datos sorprendentes en ese sentido: las empresas que utilizan realidad aumentada han informado de una reducción del 46% en el tiempo para completar las tareas y mejoras en la productividad promedio del 32%; la realidad aumentada puede reducir los errores y las llamadas de servicio innecesarias hasta en un 90%[40]; y, en un caso similar al de Boeing, IBM constató un aumento del 90% en el número de aprendices con poca experiencia que podían realizar correctamente una operación compleja usando realidad aumentada[41].

Si algo puede decirse de los destinatarios de estas tecnologías, es que su actitud no puede ser más receptiva. Casi un tercio de los consumidores (32%) usan aplicaciones de realidad aumentada, con mayor frecuencia para juegos y redes sociales. Los analistas de IDC esperan un crecimiento saludable

en el gasto de realidad aumentada (y realidad virtual, también) para generar una tasa de crecimiento anual compuesto en cinco años de más del 52%[42]. Para 2025, el 53% de los consumidores en Europa, Oriente Medio y África esperan poder usar una aplicación de realidad aumentada para ver un producto sin que esté físicamente presente y el 58% dicen que visitarían o realizarían un recorrido por un destino o evento remoto (vacaciones, concierto, actuación, sitio interesante o similar) utilizando esas tecnologías. Futurum, autora de la encuesta, asegura que esa es la verdadera promesa de las tecnologías inmersivas de realidad virtual y aumentada, la experiencia en la tienda sin la tienda, la información mejorada en un mapa sin el mapa, las instrucciones del producto superpuestas en el producto sin el manual[43].

La situación en España

Apostar por la realidad aumentada para continuar la revolución tecnológica.

En cuanto a España, que aparece citada por XR4All como uno de los mercados más creativos de Europa, sólo el 3% de las empresas seleccionadas en el informe trabajaban exclusivamente en realidad aumentada en 2018. La mayoría (un 37,6%) se dedicaba a realidad virtual, incluyendo tecnologías de vídeo 360°. El informe destaca que, en aquel momento había más de 280 empresas en nuestro país, un 86% más que en 2016, distribuidas por sectores en entretenimiento (16%), marketing y publicidad (15%), educación y formación (15%), arquitectura, ingeniería e industria (12%), turismo (14%), sanidad (7%), sector inmobiliario (7%), divulgación de tecnología (5%), servicios (5%) y concienciación social (4%).

De no corregir la tendencia, nuestro país irá desviándose del gran vector de transformación en torno a estas tecnologías.

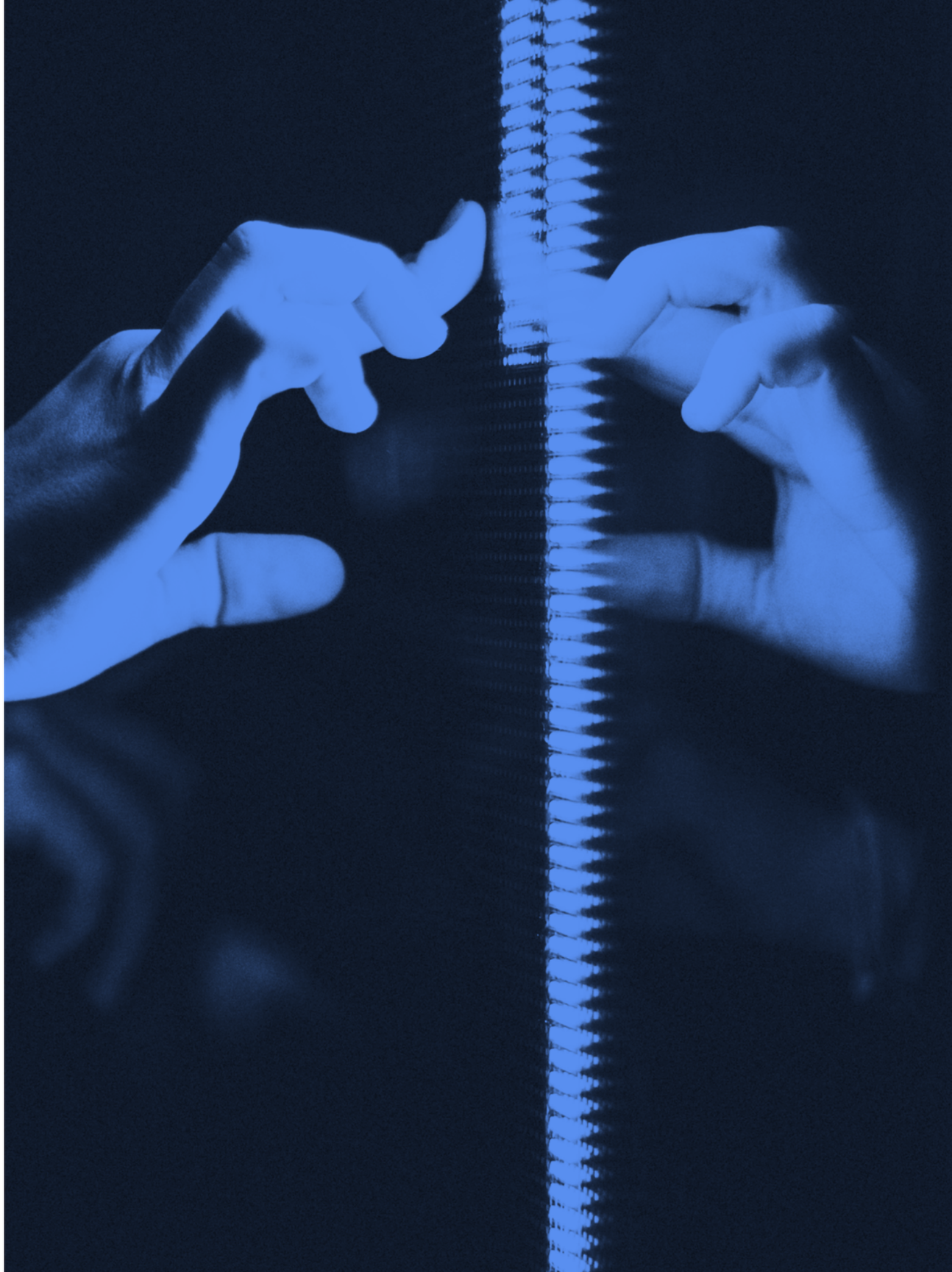
De no corregir la tendencia, nuestro país irá desviándose del gran vector de transformación en torno a estas tecnologías. Porque hoy no hay duda de que la realidad aumentada resulta más aplicable que la realidad virtual y, en consecuencia, más organizaciones la están implementando (45% frente a 36%, según el informe XR4All de la Comisión Europea). Lo corroboran las estimaciones sobre la evolución de las gafas que permiten esta tecnología. En comparación con la realidad virtual, los envíos de dispositivos de realidad aumentada en 2017 fueron mucho más bajos (menos de 0,4 millones), pero la tasa de crecimiento real es mucho mayor que la de los dispositivos de realidad virtual[44]. En 2019, la cantidad de envíos estuvo casi al mismo nivel y, en el futuro, se prevé una evolución mucho mejor de las gafas de realidad aumentada. Según Statista, las ventas alcanzarán los 4 millones de dispositivos en 2024.

Uno de los grandes referentes internacionales con sede en España es la valenciana Brainstorm, cuyo software de realidad aumentada InfinitySet sirvió a la cadena de televisión estadounidense CNBC para proyectar por primera vez gráficos en tiempo real en la noche electoral que dio la victoria a Barack Obama y ha sido utilizado en diversas películas de Hollywood. Algunos de sus hitos más recientes son la galaxia virtual generada durante la ceremonia inaugural de los Juegos Olímpicos de invierno 2018 en Pyeongchang (Corea del Sur) y el gran hito de conseguir el baile de Madonna con cinco clones en directo en los Billboard Music Awards. Además, ha consolidado en muchos informativos de televisión su sistema TelePorter de teletransporte de realidad aumentada.

Con motivo de la pandemia, España ha albergado eventos virtuales, en algún caso pioneros, como la presentación del nuevo Golf 8 de Volkswagen. La realidad aumentada se ha utilizado no solo para mostrar el coche de manera más detallada y cercana, también para incorporar a representantes de la marca que físicamente estaban en Madrid como si se encontraran en Barcelona, la ciudad desde donde se estaba produciendo este lanzamiento. Esta compañía automovilística es una de las que ha introducido también la realidad aumentada en sus operaciones. En 80 plantas, con 500 líneas de producción, ubicadas en 26 países, especialmente Europa, EE. UU., Brasil, México, China o Sudáfrica, se ha utilizado el software de la española GIMM, que ha diseñado un sistema de planificación de recursos empresariales para el sector automoción estructurado en módulos que cubren el procesamiento de la planta, la secuenciación y la gestión de excesos de inventario. En esta área también destaca el Espacio de Realidad Extendida de la

Fundación Telefónica, que utiliza realidad aumentada (además de otras tecnologías) para crear experiencias únicas entre sus visitantes. Entre otros servicios, ofrecieron varios eventos de divulgación tecnológica, destacando especialmente la aplicación “Tu cuento en la cocina”, desarrollada en colaboración con el cocinero Ferrán Adriá y los estudios Disney, que fomenta hábitos de alimentación saludable y ofrece actividades educativas para aprender en familia[45].

Dentro del sector de ventas, la empresa ActiMirror, con sede en Valencia y Hong Kong, lleva su tecnología de espejos con realidad aumentada a más de mil tiendas de la empresa japonesa Shiseido o la mayor joyería del mundo, la asiática Chow Tai Fook. Y CTRL4 Enviro utiliza diferentes técnicas de análisis de imagen, entre ellas deep learning, para controlar el flujo de personas a las playas de Castelldefels con motivo de la pandemia y los resultados de su análisis se suben a una plataforma creada por su colaborador Tinkerers Lab, que visualiza estos datos en un mapa 3D con realidad aumentada. Por último, SEUR también usa realidad aumentada en el ámbito logístico para facilitar su operativa, y ser más eficiente en los procesos de pesaje y cubicaje. En la salud, destaca Plain Concepts y sus soluciones para ayudar a los médicos a hacer biopsias y guiarles en sus intervenciones quirúrgicas.



Conclusiones

Un futuro revolucionario.

Las tecnologías de realidad aumentada son cada vez más populares, y continuarán creciendo en la próxima década. En España hay varias empresas con un potencial enorme para convertirse en líderes del sector, pero la competencia de países como EE. UU. es enorme. Por ello, es fundamental que nuestro país aproveche las oportunidades de financiación promovidas por la Unión Europea, para mantener su liderazgo y seguir creando formatos de realidad aumentada innovadores, como los desarrollados por Sngular, OneBigRobot, Brainstorm y ActiMirror, entre otras. Varios estudios estiman que, en 2030, el mercado de las tecnologías de realidad aumentada alcanzarás los 1.5 billones de dólares, una cifra equivalente al PIB español actual. A pesar del éxito de Pokémon GO, la realidad aumentada no es un juego de niños, sino una tecnología camino de transformarse en algo tan imprescindible como nuestros teléfonos móviles. Apostar por la innovación en realidad aumentada, en todos los sectores, es una garantía de éxito; revolucionará la sanidad, la educación, la ingeniería y la logística, además de transformar actividades como el turismo, las compras y el ocio.

1. Chamary, J.V. **“Why ‘Pokémon GO’ Is The World’s Most Important Game.”** Forbes, 10 de febrero de 2018. Consultado el 9 de marzo de 2021.

2. Leswing, K. **“Apple CEO Tim Cook thinks augmented reality will become central to our lives.”** Business Insider / World Economic Forum, 6 de octubre de 2016. Consultado el 9 de abril de 2021.

3. Statt, N. **“Tim Cook says augmented reality is a big idea like the smartphone.”** The Verge, 10 de febrero de 2017. Consultado el 9 de abril de 2021.

4. History of Information (n.d.). **“L. Frank Baum’s “The Master Key” Imagines a Kind of Augmented Reality.”** Consultado el 9 de abril de 2021.

5. Medium (2018). **“Interesting history of Augmented Reality.”** Consultado el 9 de abril de 2021.

6. Ultimate History of Videogames (n.d.). **“AR-Quake.”** Consultado el 9 de abril de 2021.

7. Sariego, J. **“The past, present, and future of Augmented Reality.”** Onirix, 8 de octubre de 2019. Consultado el 9 de abril de 2021.

8. Elesapiens (2017). **“Realidad Virtual en educación. ¡El futuro ahora!”** Consultado el 9 de abril de 2021.

9. NIH (2019). **“Más allá de los juegos: Usar la realidad virtual para mejorar la salud.”** Consultado el 9 de abril de 2021.

10. Fernández, Y. **“Diferencias entre realidad aumentada, realidad virtual y realidad mixta.”** Xataka, 6 de julio de 2018. Consultado el 9 de abril de 2021.

11. Neosentec (n.d.). **“¿Qué es la Realidad Aumentada?”** Consultado el 9 de abril de 2021.

12. Pastor, J. **“Windows 10 te deja adentrarte en su realidad mixta en su última compilación para Insiders.”** Xataka, 6 de marzo de 2017. Consultado el 17 de abril de 2021.

13. Singular (n.d.). **“VR & New Interfaces.”** Consultado el 17 de abril de 2021.

14. Apple (2021). **“Utilizar la app Medidas en el iPhone, iPad o iPod touch.”** Consultado el 9 de abril de 2021.

15. Matney, L. **“Snapchat debuts a library of selfie filters.”** Techcrunch, 10 de julio de 2018. Consultado el 9 de abril de 2021.

16. Corpuz, J. **“Best stargazing apps for looking at the night sky in 2020.”** Tom’s Guide, 22 de diciembre de 2020. Consultado el 9 de abril de 2021.

17. Boyle, E. **“Google Word Lens AR app now translates Japanese.”** Techradar, 26 de enero de 2017. Consultado el 9 de abril de 2021.

18. Iberdrola (n.d.). **“Realidad Aumentada: el mundo real con otros ojos.”** Consultado el 9 de abril de 2021.

19. Stein, S. **“Google 3D animals: How to use the cool AR feature at home.”** Cnet, 9 de septiembre de 2020. Consultado el 9 de abril de 2021.

20. OneBigRobot (n.d.). **“WWF Free Rivers.”** Consultado el 9 de abril de 2021.

21. Busto, H. **“Realidad aumentada y química: una combinación explosiva.”** Más ciencia, por favor, 14 de febrero de 2014. Consultado el 9 de abril de 2021.

22. Renard, L. **“10 fun augmented reality apps for teachers to use in the classroom.”** BookWidgets, 5 de diciembre de 2018. Consultado el 9 de abril de 2021.

23. Marr, B. **“9 Powerful Real-World Applications Of Augmented Reality (AR) Today.”** Forbes, 30 de julio de 2018. Consultado el 9 de abril de 2021.

24. Markander, M. “**Apple’s interactive invitation points to AR announcement.”** Macworld, 9 de septiembre de 2020. Consultado el 9 de abril de 2021.

25. Lovejoy, B. **“You can’t see the new iPad Pro in Apple Stores, but can see it on your desk.”** 9to5mac, 19 de marzo de 2020. Consultado el 9 de abril de 2021.

26. Reuters (2019). **“Microsoft opens first European store in London’s West End.”** Consultado el 9 de abril de 2021.

27. Microsoft (n.d.). **“HoloLens: discover new ways to connect and create.”** Consultado el 9 de abril de 2021.

28. Spadafora, A. **“Microsoft is making HoloLens 2 available for more industries.”** Techradar Pro, 7 de abril de 2021. Consultado el 9 de abril de 2021.

29. McKinnon, T. **“10 of the Best Augmented Reality (AR) Shopping Apps to Try Today.”** Indigo Digital, 8 de mayo de 2020. Consultado el 9 de abril de 2021.

30. Hirschfield, A. **“Augmented Reality Is Going Change How You Update Your Wardrobe.”** Observer, 2 de noviembre de 2020. Consultado el 9 de abril de 2021.

31. BBVA (2018). **“Los siete usos de la realidad aumentada que ya están aquí.”** Consultado el 9 de abril de 2021.

32. Porter, M.E. y Heppelmann, J.E. **“Why Every Organization Needs an Augmented Reality Strategy.”** Harvard Business Review, noviembre de 2017. Consultado el 9 de abril de 2021.

33. Pwc (2019). **“Seeing is Believing.”** Consultado el 9 de abril de 2021.

34. XR4All-Comisión Europea (2019). **“Moving the European XR Tech Industry Forward.”** Consultado el 9 de abril de 2021.

35. Merel, T. **“AR/VR early stage valuations soften, leading to investment and acquisition opportunities.”** Venture Beat, 16 de julio de 2019. Consultado el 9 de abril de 2021.

36. Boland, M. **“Mobile AR Users Approach 600 Million.”** AR Insider, 10 de septiembre de 2020. Consultado el 9 de abril de 2021.

37. Eurofund (2019). **“Virtual/augmented reality: Implications of game-changing technologies in the services sector in Europe.”** Consultado el 9 de abril de 2021.

38. Makarov, A. “**10 Augmented Reality Trends in 2021: The Future is Here.”** Mobidev, 1 de febrero de 2021. Consultado el 9 de abril de 2021.

39. IBM-NRF (2020). **“Meet the 2020 consumers driving change.”** Consultado el 9 de abril de 20210

40. CGS (2020). **“Adapting to COVID-19 with Augmented Reality Solutions.”** Consultado el 9 de abril de 2021.

41. IBM (2020). “**AR and VR in the workplace Extended reality reimagines how work is done.”** Consultado el 9 de abril de 2021.

42. IBM (2019) **“How Extended Reality will reshape commerce.”** Consultado el 9 de abril de 2021.

43. Futurum/SAS (2019). **“Experience 2030: The Future of Customer Service is Now.”** Consultado el 9 de abril de 2021.

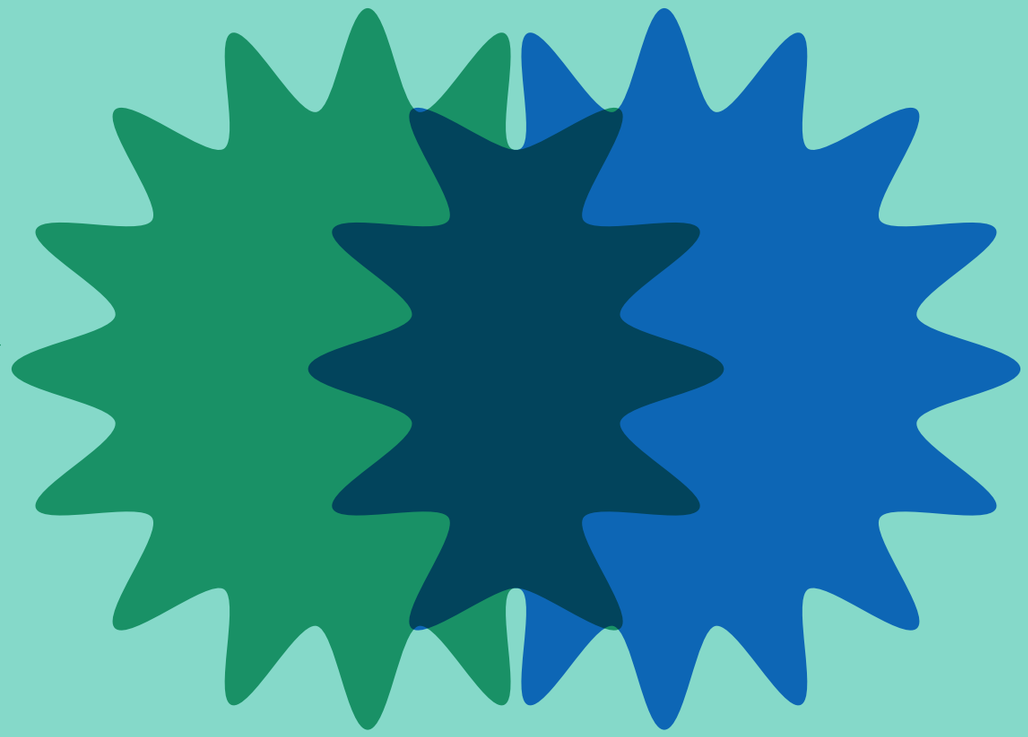
44. Statista (2019). **“AR glasses unit sales worldwide 2019-2024.”** Consultado el 9 de abril de 2021.

45. Telefónica (n.d.). **“Espacio realidad extendida.”** Consultado el 17 de abril de 2021.

07.

Test rápidos

Cómo democratizar y
descentralizar la medicina.



/ Universalización de diagnóstico y prevención
/ Lucha contra pandemias y enfermedades graves

/ Reducción de costes sanitarios
/ Velocidad diagnóstica

En clave

Actualmente, un análisis médico requiere una visita al hospital, la intervención de varios profesionales altamente cualificados y un laboratorio enorme lleno de aparatos caros, complicados y, por lo general, lentos. Sin embargo, tenemos la posibilidad de convertir estos análisis en procedimientos tan sencillos como un test de embarazo, que no requieran más que una hoja de papel, gracias a los test rápidos y a la tecnología *point-of-care (pruebas de cabecera cerca del sitio de atención al paciente).*

La tecnología

Un laboratorio en tu bolsillo.

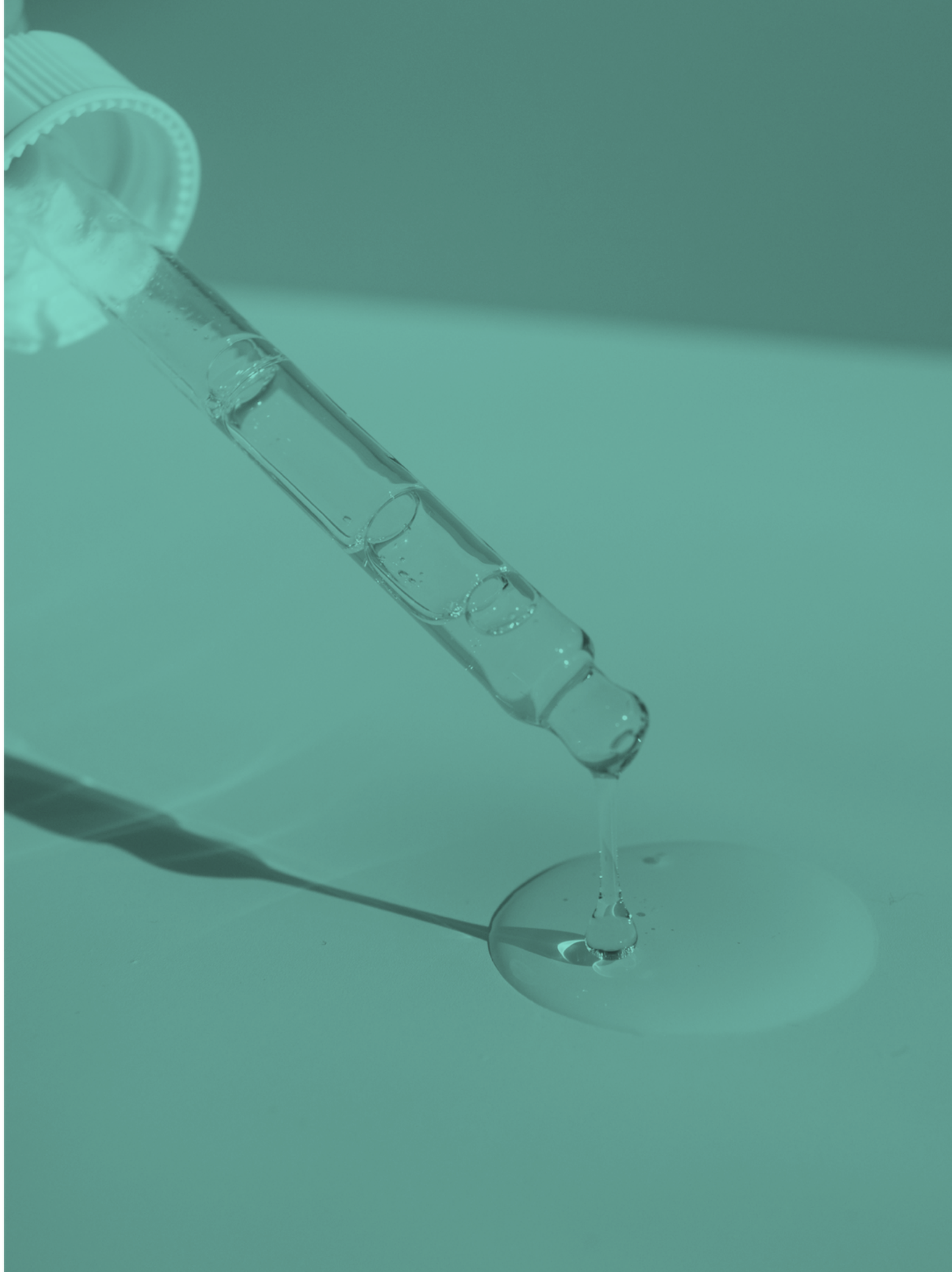
Los test rápidos podrían revolucionar nuestra manera de diagnosticar enfermedades. Según la OMS, estos ensayos funcionan sin la complejidad de un laboratorio de análisis, dan resultados en cuestión de pocos minutos y son fáciles de usar, de modo que tampoco necesitan la intervención de profesionales médicos[1]. Un par de ejemplos cotidianos de test rápidos serían las pruebas de embarazo (que detectan gonadotropina[2], una hormona producida después de que el embrión se acomode en el útero) o los medidores de glucosa que utilizan los pacientes con diabetes[3].

La importancia de disponer de este tipo de análisis rápidos, robustos y accesibles se ha puesto de manifiesto durante la pandemia de COVID-19. La detección del SARS-CoV-2 se ha basado casi exclusivamente en pruebas PCR que, aunque son muy fiables, tardan varias horas en ofrecer resultados y requieren equipos especializados, personal altamente cualificado y el uso de reactivos costosos[4]. Estos requisitos ralentizan la obtención de resultados y, por lo tanto, dificultan la toma de decisiones médicas.

Por lo general, los test rápidos funcionan gracias a reacciones químicas y bioquímicas. Estos procesos generan cambios en el entorno que podemos detectar e interpretar fácilmente. Quizás los más populares sean los test de flujo lateral, unas pruebas basadas en la separación de sustancias por cromatografía. La muestra, normalmente líquida, se deposita en una cinta de un material poroso, que tiene la capacidad de trasportar el

líquido poco a poco. Conforme la muestra avanza por la cinta, se encuentra con diferentes sustancias químicas, como por ejemplo anticuerpos y enzimas. Estas son moléculas realmente selectivas, capaces de reconocer ciertos productos de manera muy específica. Por ejemplo, en las pruebas de embarazo, la cinta está cubierta de anticuerpos que se unen solamente a la gonadotropina, y el resto de sustancias presentes en la orina siguen su camino sin interrupciones. Estos test suelen incorporar una segunda 'trampa' para los analitos, una zona donde el anticuerpo y la gonadotropina se unirán a una tercera molécula para generar un cambio de color que se convertirá en la señal que nosotros, como usuarios, identificaremos como positivo[5]. Los test de anticuerpos para COVID-19, que pueden comprarse en farmacia bajo prescripción médica, funcionan de manera similar[6], pero utilizan una gota de sangre como muestra. Estos test de flujo lateral tienen muchas más aplicaciones: pueden utilizarse para monitorizar la calidad de la comida, para evaluar la potabilidad del agua y para detectar enfermedades infecciosas de manera rápida, fiable y eficiente[7]. Los medidores de glucosa también se basan en el reconocimiento selectivo de analitos, pero la lectura del resultado sigue un procedimiento diferente. Originalmente, se medía el avance de la reacción química entre la glucosa y una enzima mediante un ensayo colorimétrico, un proceso químico que produce un cambio de color que puede detectarse fácilmente de forma visual. Actualmente, los test usan reacciones similares, pero están basados en la detección de corrientes eléctricas que se generan. Gracias a unos sensores conocidos como transductores, estos sutiles cambios electroquímicos se convierten en señales que podemos leer e interpretar, como por ejemplo números en una pantalla[8].

Estos son simplemente ejemplos cotidianos. El potencial de los test rápidos va mucho más allá, ha llevado al desarrollo de tecnologías avanzadas como los dispositivos *'lab-on-a-chip',* los test genéticos rápidos o ensayos accesibles y reciclables hechos de papel. Además, estos adelantos acelerarán la democratización de la sanidad[9]. Los test rápidos y los test domésticos permitirán la descentralización de los diagnósticos, evitarán las aglomeraciones en los hospitales, agilizarán los tratamientos y mejorarán el acceso a la atención médica en los países en vía de desarrollo.

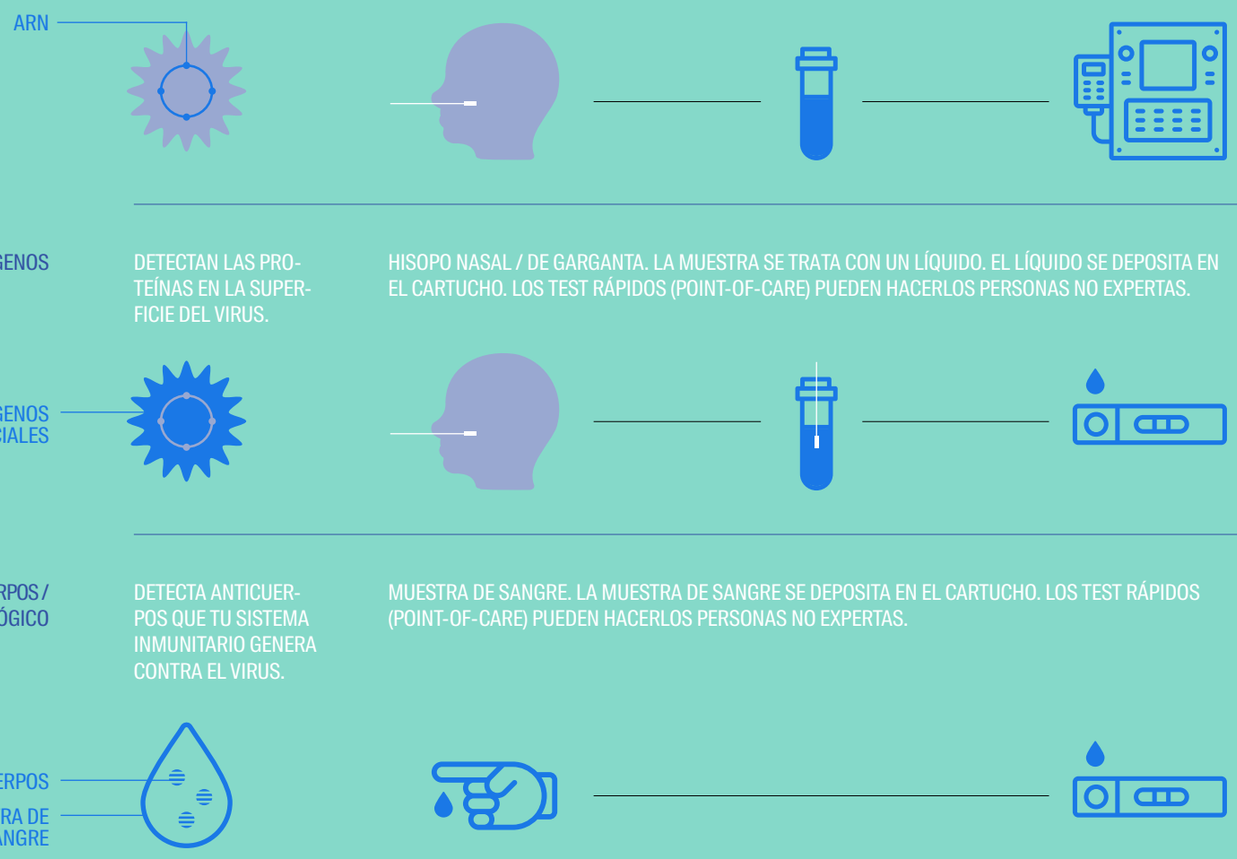


Fuente: Nature.

FIGURA 1.

¿CÓMO FUNCIONAN LOS TEST DE LA COVID-19? DOS TIPOS DE TEST REACCIONAN A MATERIALES VÍRICOS. UN TERCER TIPO EXAMINA NUESTRA RESPUESTA INMUNOLÓGICA A LA INFECCIÓN.

TIPO DE TEST	CÓMO FUNCIONA		QUÉ INFORMACIÓN PROPORCIONA	TIEMPO Y COSTE	FIABILIDAD
TEST BASADOS EN ÁCIDOS NUCLEICOS	DETECTAN MATERIAL GENÉTICO DEL VIRUS (ARN).	HISOPO NASAL / DE GARGANTA. EL ARN SE EXTRAE Y SE CONVIERTE A ADN. LA PCR AMPLIFICA EL ADN GRACIAS A REACTIVOS Y MÁQUINAS EN EL LABORATORIO. NORMALMENTE, ESTOS ANÁLISIS NECESITAN UN LABORATORIO CERTIFICADO, AUNQUE ALGUNAS MÁQUINAS PUEDEN TRANSPORTARSE HASTA PUNTOS DE ANÁLISIS CONCRETOS. ALGUNAS VARIACIONES INCLUYEN SISTEMAS LAMP, CRISPR Y SECUENCIACIÓN DE BASES – TEST QUE AMPLIFICAN Y DETECTAN ADN DE DIFERENTES MANERAS.	EL TEST TE DICE SI HAY PRESENTE MATERIAL GENÉTICO DEL VIRUS, INCLUSO EN NIVELES MUY BAJOS.	HORAS/ DÍAS € € €	ES MUY SENSIBLE Y MUY ESPECÍFICO. PUEDEN SER CUANTITATIVOS.
TEST DE ANTÍGENOS	DETECTAN LAS PROTEÍNAS EN LA SUPERFICIE DEL VIRUS.	HISOPO NASAL / DE GARGANTA. LA MUESTRA SE TRATA CON UN LÍQUIDO. EL LÍQUIDO SE DEPOSITA EN EL CARTUCHO. LOS TEST RÁPIDOS (POINT-OF-CARE) PUEDEN HACERLOS PERSONAS NO EXPERTAS.	EL TEST TE DICE SI HAY ALTAS CONCENTRACIONES DEL VIRUS (Y, POR LO TANTO, SI ES PROBABLE QUE SEAS CONTAGIOSO).	MINUTOS €	SUELE PASAR POR ALTO INFECCIONES CON BAJA CARGA VIRAL. SON CUALITATIVOS
TEST DE ANTICUERPOS / TEST SEROLÓGICO	DETECTA ANTICUERPOS QUE TU SISTEMA INMUNITARIO GENERA CONTRA EL VIRUS.	MUESTRA DE SANGRE. LA MUESTRA DE SANGRE SE DEPOSITA EN EL CARTUCHO. LOS TEST RÁPIDOS (POINT-OF-CARE) PUEDEN HACERLOS PERSONAS NO EXPERTAS.	DETECTA SI HAS PASADO LA INFECCIÓN, PERO NO DETECTA INFECCIONES EN CURSO.	MINUTOS €	VARIABLE, PERO ALGUNOS SON MUY ESPECÍFICOS. SON CUALITATIVOS





Oportunidades

Medicina personalizada, barata y descentralizada.

Elizabeth Holmes estudiaba en la Universidad de Stanford cuando tuvo una idea brillante: un parche que analizara la sangre de los pacientes, monitorizara sus constantes y, al mismo tiempo, administrara todos los medicamentos necesarios para el tratamiento. Decidió fundar Theranos, una empresa que en poco tiempo recaudó cientos de millones de dólares y se convirtió en una de las grandes promesas de Silicon Valley. Resultó ser un fraude[10]. Fue un escándalo mediático que inspiró varios libros y documentales. Sin embargo, gracias a los avances en la tecnología de test rápidos, podríamos alcanzar una realidad similar a la utopía de Holmes. Quizás sea complicado centralizar todos los análisis y tratamientos en un único dispositivo, pero los test rápidos pueden acelerar el avance de una medicina totalmente personalizada y, al mismo tiempo, deslocalizada.

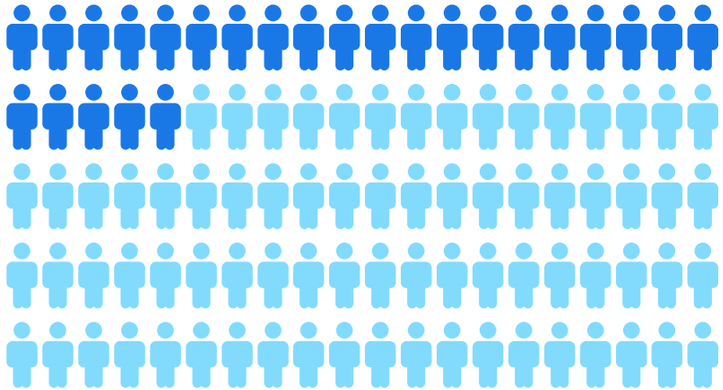
El coronavirus SARS-CoV-2, causante de la COVID-19, ha paralizado los sistemas sanitarios de medio mundo. En cierto modo, este colapso se produjo por la falta de métodos de diagnóstico que fueran sencillos, rápidos y accesibles. Con el avance de la pandemia han aparecido sistemas que permiten detectar la infección sin necesidad de acceder a un laboratorio de análisis. El más reciente, aprobado por la FDA americana a principios de marzo, permite detectar trazas del material genético del virus en apenas 20 minutos y comunica los resultados a través de una aplicación para teléfonos móviles[11]. La FDA también aprobó a finales de marzo la venta de varios test rápidos (diseñados por Abbott y Quidel) sin receta, algo que acelerará la monitorización de la pandemia[12]. Los test rápidos permitirán descentralizar los procesos de diagnóstico y facilitarán el acceso a medidas de prevención y tratamientos a las personas con acceso limitado a hospitales. Varios estudios científicos sugieren que el acceso a este tipo de test rápidos podría contribuir a frenar el avance del coronavirus en las comunidades más desfavorecidas y socialmente vulnerables[13].

Más allá de la COVID-19, los test rápidos podrían acelerar el diagnóstico de muchas otras enfermedades infecciosas. Laura Lechuga, profesora de investigación del CSIC y miembro del comité de expertos de la Fundación Rafael del Pino, expli-

ca que debido a la infraestructura hospitalaria que actualmente requieren algunos análisis, muchos resultados tardan hasta 72 horas. Los diagnósticos están abocados al uso de personal cualificado, aparatos y reactivos generalmente inaccesibles y procesos excesivamente complejos. Las tecnologías de *"point-of-care"* (POCT, por sus siglas en inglés) podrían arrojar resultados en cuestión de minutos y acelerar el tratamiento para, de esta forma, salvar vidas. Algunas enfermedades infecciosas que pueden detectarse rápidamente con esta tecnología son la malaria, la gripe, la tuberculosis y enfermedades de transmisión sexual como el sida. En el caso del VIH, se estima que alrededor de un 25% de las personas infectadas desconocen su serología[14]. Por ello, es fundamental impulsar la implantación de herramientas de diagnóstico rápido que no requieran una analítica completa. A partir de una gota de sangre y en apenas 30 minutos, estos test facilitan la interpretación de los resultados y la asistencia médica inmediata en caso de obtener un resultado positivo[15].

25%

DE LAS PERSONAS INFECTADAS CON VIH DESCONOCEN SU SEROLOGÍA.





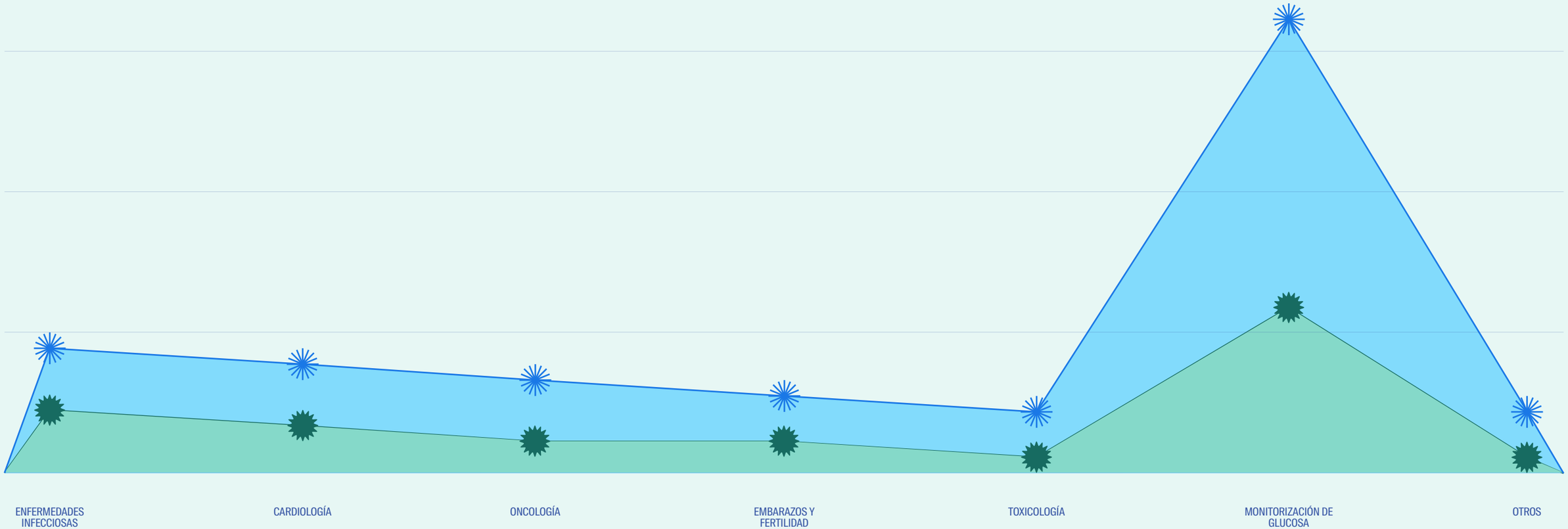
Fuente: Allied Market Research.

FIGURA 2.

HOY EN DÍA, LAS APLICACIONES DE LOS TEST RÁPIDOS SE CENTRAN EN LA DETECCIÓN DE GLUCOSA Y TEST DE EMBARAZO. SE PREVÉ QUE ESTAS APLICACIONES SIGAN CRECIENDO, PERO LOS EXPERTOS TAMBIÉN ESPERAN QUE SE DUPLIQUE EL MERCADO DE TEST RÁPIDOS PARA DETECTAR ENFERMEDADES INFECCIOSAS, CARDIACAS Y DISTINTOS TIPOS DE CÁNCER.

MERCADO GLOBAL DE TEST RÁPIDOS (POR APLICACIÓN)

"LA MONITORIZACIÓN DE GLUCOSA TIENE UNA POSICIÓN DOMINANTE EN 2016 Y MANTENDRÁ EL LIDERAZGO EN EL PRÓXIMO PERIODO."



También se han diseñado test rápidos para detectar biomarcadores asociados a la sepsis[16], infecciones bacterianas que, a pesar de estar consideradas como prevenibles por la OMS, matan a más de seis millones de personas al año[17]. En este tipo de infecciones, la detección temprana es fundamental para garantizar la supervivencia del paciente. También podrían adaptarse estos dispositivos para detectar biomarcadores y analitos relacionados con distintos tipos de cáncer, lo que permitirá el avance hacia la medicina personalizada[18]. En este sentido, los test rápidos facilitarán la vida a pacientes con alergias e intolerancias alimentarias comunes, ya que pueden utilizarse para detectar de forma rápida alérgenos y sustancias inmunotóxicas[19]. Asimismo, los test rápidos podrán facilitar la detección de algunas enfermedades genéticas antes del embarazo utilizando muestras de saliva de los padres. En caso de descubrirse alguna patología, los padres podrán optar por la fecundación in vitro de embriones que han pasado un diagnóstico genético preimplantacional[20].

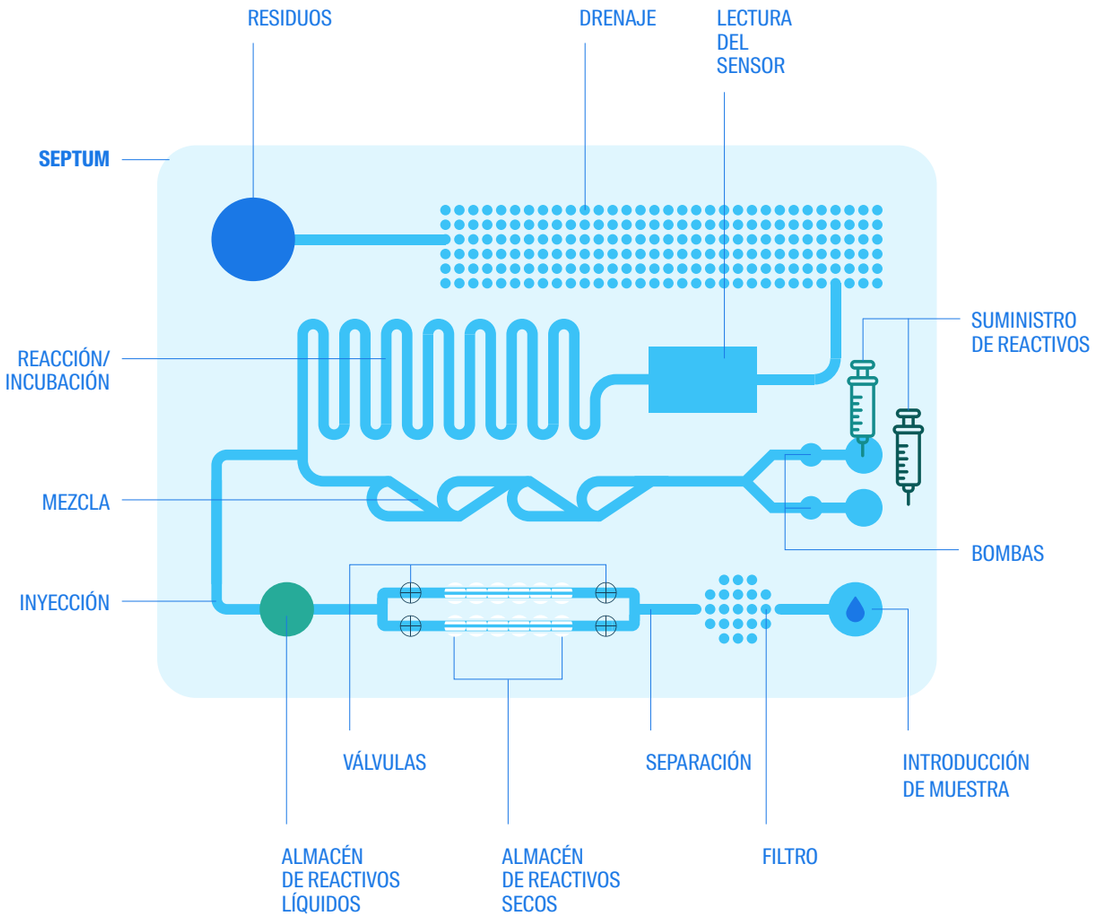
Los dispositivos *lab-on-a-chip* integran varias funciones de un laboratorio de análisis en tan solo unos milímetros cuadrados. Gracias a los últimos avances en microfluídica (el control y la manipulación de pequeños volúmenes de líquidos), los *lab-on-a-chip* pueden llevar a cabo varias etapas del proceso de análisis en un único instrumento, lo que minimiza las tareas de manipulación y acorta el tiempo de respuesta. En España, el Centro de Investigación Biomédica en Red en el área temática de Bioingeniería, Biomateriales y Nanomedicina del Instituto de Salud Carlos III (CIBER-BBN) ha patentado distintos dispositivos de este estilo para el análisis de muestras y el estudio de cultivos celulares. Además de la miniaturización, estos *lab-on-a-chip* pueden ser controlados de manera remota mediante tecnologías sin cables y pueden fabricarse a escalas industriales[21].

Muchos de estos dispositivos todavía requieren componentes electrónicos y fuentes de energía no sostenibles, como las baterías. Por eso existen líneas de investigación como la encabezada por el profesor George Whitesides, de la Universidad de Harvard, EE. UU., que exploran el uso de dispositivos de diagnóstico basados en microfluidos que puedan imprimirse di-

Fuente: M. Safwan-Akram et al. "Applications of Paper-Based Diagnostics", Springer 2014.

FIGURA 3.

LOS 'LAB-ON-A-CHIP' PUEDEN LLEVAR A CABO VARIAS REACCIONES QUÍMICAS Y ANÁLISIS PROPIOS DE UN LABORATORIO EN UN DISPOSITIVO DE DIMENSIONES REDUCIDAS. GRACIAS A LOS AVANCES EN MICROFLUÍDICA, ESTOS DISPOSITIVOS PUEDEN TRABAJAR CON VOLÚMENES DE MUESTRA MUY PEQUEÑOS. ADEMÁS, AL SER TAN PEQUEÑOS, PERMITEN LA DESCENTRALIZACIÓN DE LA MEDICINA Y ACELERAN LOS DIAGNÓSTICOS.



rectamente en papel. Algunos de los ensayos desarrollados por el grupo de Whitesides tienen el tamaño de un sello de correos y pueden fabricarse por unos pocos céntimos de euro[22]. La empresa Diagnostics for All comercializa algunos de estos productos, como unos test rápidos que permiten detectar enfermedades hepáticas de un vistazo. Un sencillo cambio de color indica si el paciente está en peligro. Estos análisis de bajo coste y fáciles de usar podrían ayudar a identificar enfermedades en países en vía de desarrollo y poblaciones desfavorecidas.

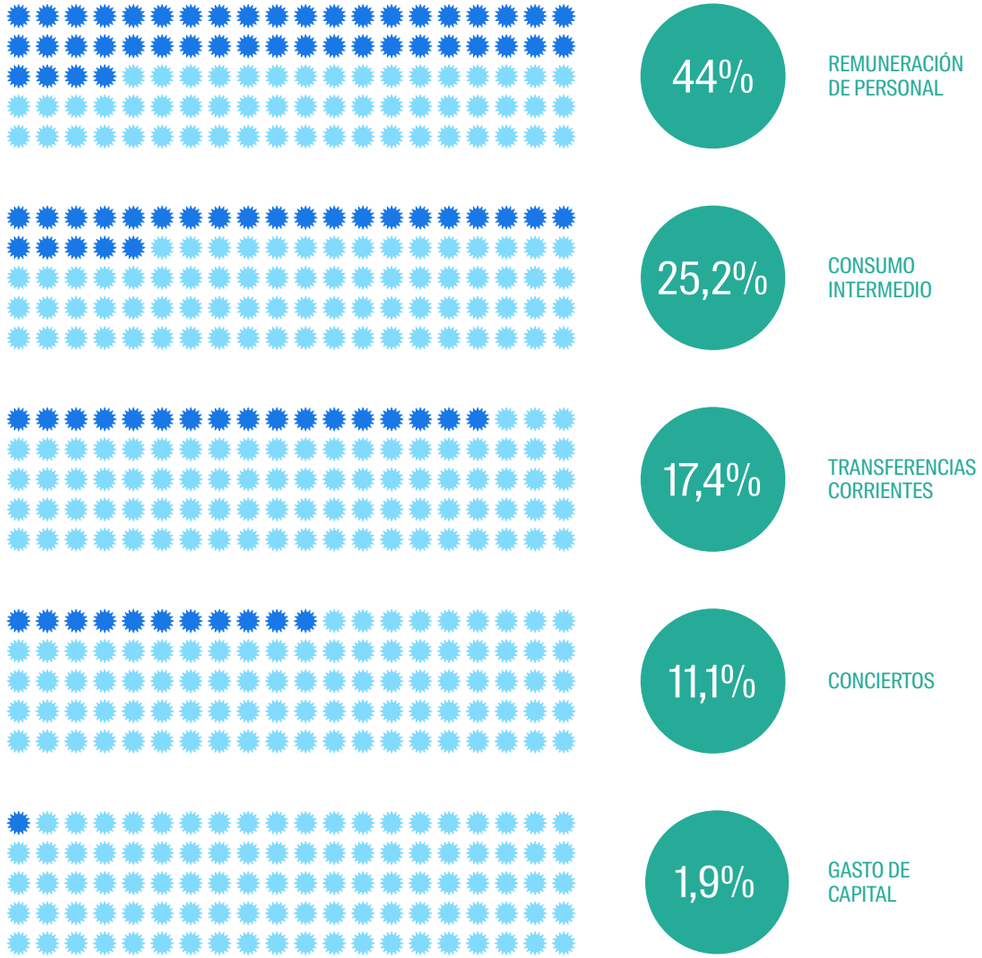
Los test rápidos aceleran las decisiones médicas y reducen el tiempo en el hospital.

Poco a poco, los test rápidos y los POCT empezarán a transformar y a democratizar la sanidad. En un meta-análisis publicado en 2020, varios investigadores de la Universidad de Oxford analizaron los casos de casi 20.000 pacientes que se beneficiaron de estas tecnologías, con un resultado esperanzador: los test rápidos aceleran las decisiones médicas y reducen el tiempo en el hospital[23]. Otras ventajas de estos análisis incluyen un cribado más rápido, intervenciones más eficaces, un menor uso de antibióticos y un ahorro de tiempo para el personal sanitario. Actualmente, las remuneraciones de los trabajadores suponen un 44% del gasto sanitario del Gobierno de España[24]. Los test rápidos podrían optimizar estos costes y, sobre todo, liberar tiempo para que los profesionales atiendan mejor a los pacientes, sobre todo a los que realmente necesitan una atención especializada.

Fuente: Ministerio de Sanidad.

FIGURA 4.

CASI LA MITAD DEL GASTO SANITARIO PÚBLICO SE DEDICA A COSTES DE PERSONAL. UTILIZAR TEST RÁPIDOS Y POCT PODRÍA OPTIMIZAR ESTA PARTIDA Y LIBERAR TIEMPO DE NUESTROS PROFESIONALES MÉDICOS.



La posición de España

Start-ups listas para despegar.

La crisis de la COVID-19 ha puesto de manifiesto dos realidades acerca de la industria de los test rápidos y, por extensión, del sector de los diagnósticos in vitro (IVD)[25]. Su potencial de crecimiento es muy elevado, gracias a la concienciación creciente de los pacientes, la deshospitalización de la medicina y el desarrollo de tecnologías habilitantes, pero debe resolver las importantes barreras que todavía persisten para su aplicación de forma masiva. El caso de los ensayos moleculares, en particular los que involucran la reacción en cadena de la polimerasa con transcripción inversa (RT-PCR), considerados las pruebas de confirmación óptimas para las infecciones virales, resulta paradigmático. Hasta la llegada de la pandemia, la falta de disponibilidad y de capacidad de los laboratorios había relegado a los PCR a un segundo lugar en detrimento de los inmunoensayos en muchas regiones del mundo. Pero la Covid-19 ha provocado un reequilibrio en favor de los PCR, con incrementos de hasta 1.000 veces en la capacidad de prueba en países como India, y las previsiones son que una vez se supere la crisis buena parte de esa capacidad permanezca[26].

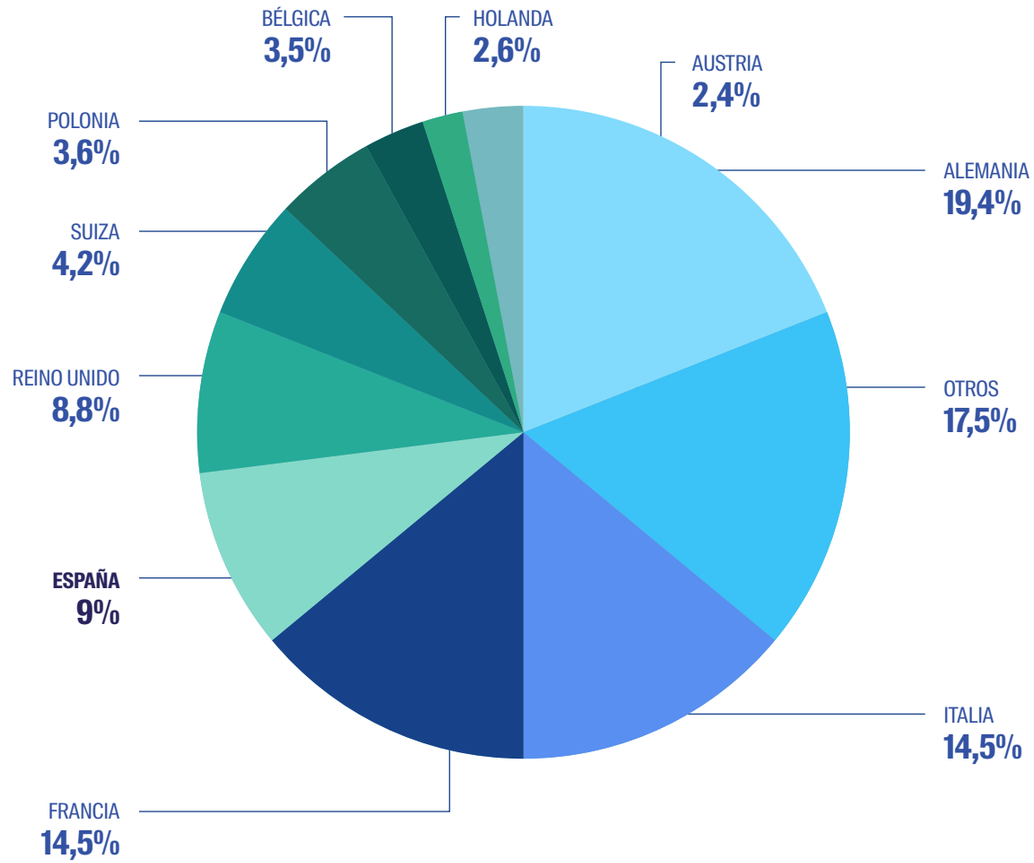
El tiempo ha acabado por dar la razón a China, que se ha consolidado como líder en el segmento de las PCR a nivel global. Hasta la pandemia su capacidad para fabricar ensayos moleculares crecía a un ritmo del 16% anual, aunque en términos absolutos todavía representaba cifras discretas, de unos 1.500 millones de dólares. Pero su industria tuvo la habilidad de desarrollar una amplia gama de productos relacionados con este tipo de pruebas, incluidos equipos y reactivos, de modo

Fuente: MedTech Europe.

que al estallar la pandemia los fabricantes chinos, que recibieron un sustancial apoyo financiero de su Gobierno para adaptar su producción al incremento de la demanda, consolidaron una posición dominante con visos de persistir a largo plazo.

FIGURA 5.

MERCADO DE LAS TECNOLOGÍAS DE ANÁLISIS IN VITRO EN LOS PAÍSES EUROPEOS. ESPAÑA TAN SÓLO ESTÁ POR DETRÁS DE ALEMANIA, FRANCIA E ITALIA.



El margen de recorrido del resto de economías era y sigue siendo evidente, incluida la nuestra. Hasta la llegada de la pandemia, el mercado de las pruebas IVD en España ascendía a 1.033 millones de euros[27], lo que representa apenas un 0,9% del gasto total en salud, una media de 22 euros por habitante y año. Este porcentaje era ligeramente superior al 0,7% de la media de la UE-28, pero inferior al 1,2% de los nuevos Estados miembros. Apenas un 2%-4% de los costes totales que soportan los hospitales se destinaban a pruebas IVD y cada ciudadano español realizaba 1,3 solicitudes de analítica al año, que incluían 13 pruebas por petición.

Hasta la llegada de la pandemia, el mercado de las pruebas IVD en España ascendía a 1.033 millones de euros, un 0,9% del gasto total en salud, con una media de 22 euros por habitante y año.

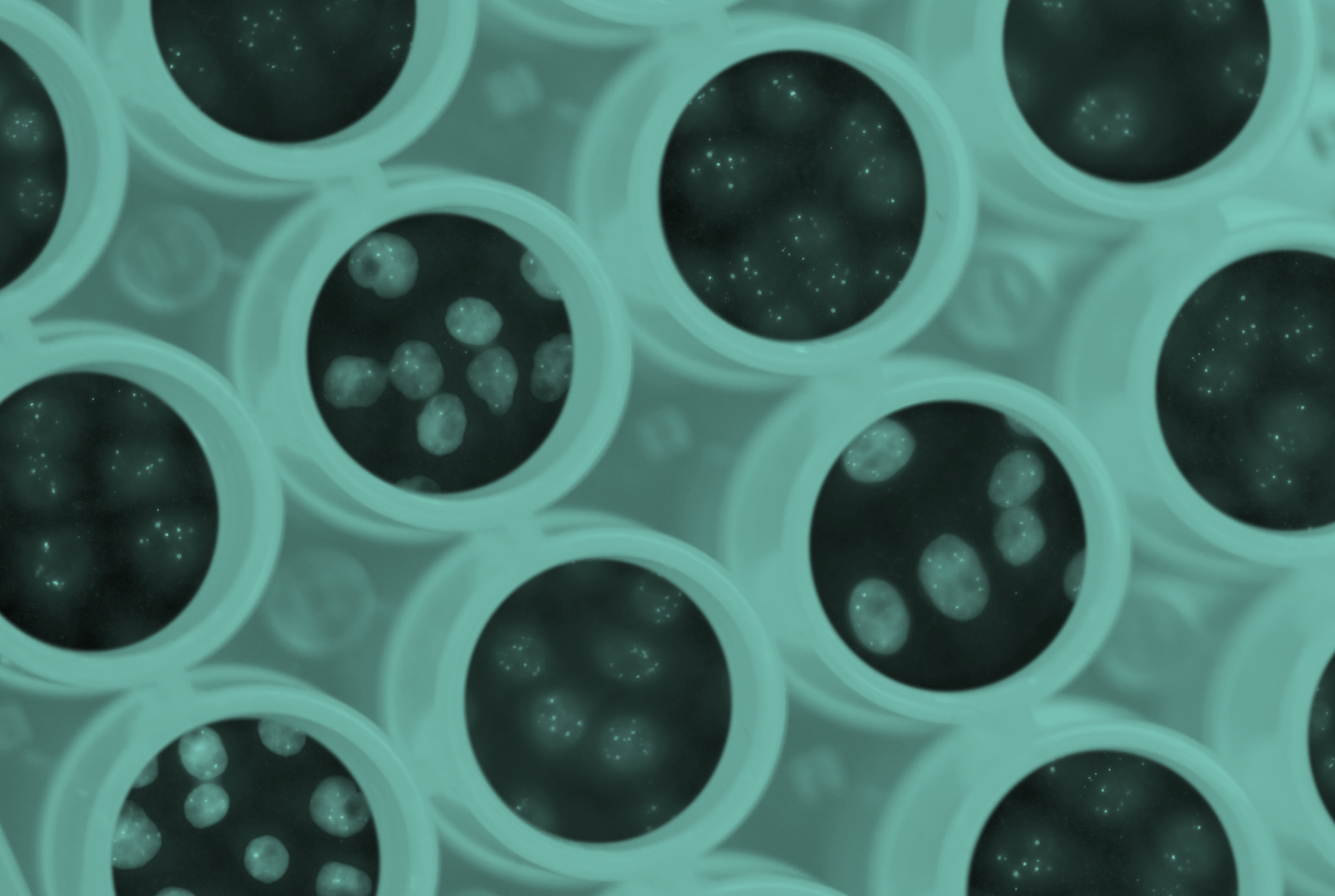
A pesar del lento desarrollo del mercado, poco a poco se han consolidado empresas innovadoras en el ámbito de los test rápidos. como Droplite, un *spin off* del ICFO, en Barcelona, que integra en un dispositivo médico, basado en tecnología fotónica, las fases que se realizan en un laboratorio de análisis clínicos. Su desarrollo se basa en el concepto lab-on-a-chip conectado a la nube para garantizar la trazabilidad y el acceso a los resultados en cualquier momento. En una línea similar, Photonics21 ha destacado pruebas fotónicas que utilizan láseres ultrasensibles para detectar bajas cantidades de virus en muestras de saliva desde el primer día de la infección.

Otra start-up, RheoDx, ha desarrollado un dispositivo médico portátil y económico que mejora el diagnóstico y seguimiento de las enfermedades relacionadas con las células sanguíneas a partir de una sola gota de sangre y con sólo cinco minutos de espera. El proyecto nació en la facultad de Física de la Universidad de Barcelona (UB) y el Centre de Recerca Ma-

temàtica (CRM). En una fase inicial, se ha marcado como objetivo ahorrar sangre, para determinar con exactitud la cantidad de bolsas que necesita un paciente con una enfermedad hematológica que requiere de transfusiones recurrentes. Es un ejemplo de test rápido con visión social, porque en el mundo se realizan más de 100 millones de transfusiones anuales y algunos estudios demuestran que alrededor del 20% de estas son innecesarias.

En la era digital e hiperconectada, surgen otras formas de realizar test rápidos para ayudar a las decisiones clínicas. El Hospital Universitario Miguel Servet de Zaragoza y el Graphics and Imaging Lab de la Universidad de Zaragoza desarrollaron una tecnología que ya ha servido para diagnosticar a más de 4.500 niños de España, Hong Kong, México, Vietnam y Rusia gracias al proyecto AI for Good de Huawei. El sistema está dirigido a pacientes no colaboradores, aquellos con dificultades a la hora de comunicarse con el doctor. A través de su dispositivo Dive Medical, y con tecnología de seguimiento ocular *(eye tracking)*, el sistema es capaz de detectar dónde mira exactamente el paciente y, gracias a la solución de inteligencia artificial TrackIA para identificar patrones de mirada, diseñada por el Instituto de Investigación Sanitaria de Aragón, enlaza el resultado con patologías específicas y calcula una probabilidad de enfermedad.

En cuanto a la industria europea del IVD, es un mercado con un valor de alrededor de 11.000 millones de euros. Está compuesta en un 95% por pequeñas y medianas empresas y reinvierte aproximadamente 1.000 millones de euros al año en I + D, según MedTech Europe. Todos los analistas auguran crecimientos atractivos. UnivDatos Market Insights prevé que el mercado de POCT generará ingresos de 29.270 millones de dólares para 2025, expandiéndose a una tasa compuesta anual de 5,33%. PricewaterhouseCoopers espera que, gracias al ‘efecto Covid’, el mercado global de POCT de atención domiciliaria crezca un 7,4% anual hasta 2026, frente al 6% del mercado general de POCT[28].



Retos

Test conectados para evitar la próxima pandemia.

Los test rápidos se verán favorecidos por el desarrollo que están experimentando las tecnologías de la era digital. La producción en masa de sensores portátiles que se adaptan a la superficie de la ropa y otros materiales de sustrato flexible se puede lograr mediante tecnologías de impresión como la serigrafía, la impresión de rollo a rollo y la impresión de inyección de tinta. La habilitación de la comunicación inalámbrica de datos de estos sensores portátiles para llevar en el cuerpo permitirá el uso masivo a través de las plataformas de Internet de las cosas. Los datos se pueden utilizar en modelos de aprendizaje automático para predecir áreas geográficas con abundancia de poblaciones en riesgo. Esto permitiría a los gobiernos la formulación de políticas y la elaboración de estrategias y tomar decisiones adecuadas con respecto al aislamiento y el distanciamiento a nivel local para evitar una mayor propagación de la infección[29].

Una de las barreras detectadas en Europa tiene que ver con la paradójica falta de acoplamiento entre las necesidades que detectan los facultativos y los que identifican los estudios de evaluación de los POCT[30]. Una asincronía que se ha puesto de manifiesto en la crisis de la Covid-19 y que debería estar en el centro de cualquier análisis en profundidad del sector. Mientras los médicos de cabecera perciben la utilidad clínica como el aspecto más importante cuando se trata de un test rápido, solo el 8% de las evaluaciones de prueba incorporan algún aspecto de utilidad clínica en su análisis. Además, el tiempo de respuesta de la prueba se informó en más de la mitad de las evaluaciones (52,5%) aunque no se encuentra entre los diez determinantes más importantes según los médicos de cabecera, y el desempeño técnico se considera el segundo determinante más importante entre los médicos de cabecera y fue abordado por casi la mitad de las evaluaciones (48,3%).

La demanda es extremadamente alta en los países desarrollados debido a los cambios en la demografía y la epidemiología, tanto el envejecimiento de la sociedad como la proliferación de enfermedades relacionadas con el estilo de vida, como la diabetes, las enfermedades cardíacas y respiratorias, los accidentes cerebrovasculares y el cáncer, que podrían tratarse de manera eficaz y eficiente en el hogar con el apoyo adecuado.

El segmento de pruebas de glucosa en sangre representó una participación de más del 61% del mercado de diagnóstico rápido en 2019[31]. La FDA aprobó en EE. UU. los sensores implantables para la monitorización continua de la glucosa, que duran de tres a siete días, y permiten controles glucémicos estrictos con menos molestias para el paciente. El segmento de atención domiciliaria representó una participación del 51% del mercado mundial de pruebas de diagnóstico rápido.

En el lado de los obstáculos a superar en Europa, el sector de las pruebas IVD (análisis in vitro) se ha movilizado ante las consecuencias del cambio regulatorio aprobado por la Comisión Europea en 2017 (IVDR), cuya entrada en vigor está prevista para antes del 26 de mayo de 2022. Entre otras voces, MedTech Europe ha pedido un aplazamiento de un año, como sucedió con el reglamento sobre dispositivos médicos, debido a que la crisis del COVID-19 ha dejado en suspenso de facto el proceso de implementación del IVDR. La Comisión Europea y los Estados miembros, así como los fabricantes, necesitaban redirigir recursos significativos hacia la gestión de la crisis del COVID-19, algo que ha estancado el trabajo requerido para avanzar con la implementación del IVDR[32]. La mayoría de los elementos del IVDR son, en efecto, nuevos. En particular, aumentará significativamente la participación y la carga de trabajo de los organismos notificados en la certificación de ensayos[33].

Conclusiones

Una apuesta por el desarrollo de test rápidos, baratos y sencillos de usar es una apuesta por una sanidad más justa y más eficaz. Los test rápidos facilitan el acceso igualitario al diagnóstico y reducen la carga de trabajo del personal sanitario y, además, aceleran la asistencia médica y el tratamiento cuando son necesarios. Integrados en tecnologías como los *lab-on-a-chip,* estos test podrán detectar varios analitos (y, por lo tanto, varias enfermedades) al mismo tiempo. Asimismo, gracias a las posibilidades de conectividad de estos dispositivos, formarán parte del Internet-of-Things y ayudarán a desarrollar una medicina más personalizada, en la que los viajes al hospital sean cada vez más infrecuentes e innecesarios. Por último, los avances más recientes en ingeniería y microfluídica permiten fabricar test rápidos imprimiendo directamente sobre papel, lo que reduce el uso de componentes electrónicos. Estas nuevas tecnologías, probablemente, carezcan de la conectividad de los *lab-on-a-chip,* pero ya pueden fabricarse a escalas industriales y han transformado el diagnóstico de enfermedades en los países en desarrollo. De cara a futuras pandemias y al análisis del avance de otras enfermedades infecciosas, los test rápidos son la mejor solución para un cribado rápido y eficaz. Poder diseñar este tipo de test a medida evitará confinamientos duros en el futuro y acelerará la vuelta a la normalidad.

1. OMS (2014). **“Simple / Rapid tests.”** Consultado el 6 de marzo de 2021.

2. Medline Plus – NIH (n.d.). **“Prueba de embarazo.”** Consultado el 6 de marzo de 2021.

3. Mayo Clinic (2019). **“Medidores de glucosa en sangre: cómo elegirlos.”** Consultado el 6 de marzo de 2021.

4. Agencia Sinc (2020). **“Así son las pruebas PCR que se utilizan para detectar el coronavirus.”** Consultado el 6 de marzo de 2021.

5. Compound Interest (2020). **“How do pregnancy tests work?”** Consultado el 6 de marzo de 2021.

6. RTVE (2020). “**Así son los test de anticuerpos de las farmacias: resultados en minutos, siempre con receta y para personas sin síntomas.”** Consultado el 6 de marzo de 2021.

7. Abingdon Health (n.d.). “**What is a lateral flow test?”** Consultado el 6 de marzo de 2021.

8. Agamatrix (n.d.). **“Glucose sensors.”** Consultado el 6 de marzo de 2021.

9. I. Hernández-Neuta, et al., 2019. Smartphone-based clinical diagnostics: towards democratization of evidence-based health care, ***Journal of Internal Medicine,*** 285, pp. 19-39.

10. Salzman, A. **“Theranos: From Unicorn Hype to Massive Fraud.”** Barron’s, 14 de marzo de 2018. Consultado el 6 de marzo de 2021.

11. FDA (2021). **“Coronavirus (COVID-19) Update: FDA Issues Authorization for First Molecular Non-Prescription, At-Home Test.”** Consultado el 6 de marzo de 2021.

12. Hengel, B, et al., A decentralised point-of-care testing model to address inequities in the COVID-19 response, ***The Lancet Infectious Diseases,*** DOI: 10.1016/S1473-3099(20)30859-8.

13. ONU – UNAIDS (2018). **“Knowledge is power.”** Consultado el 6 de marzo de 2021.

14. Gobierno de Argetina (2013). **“Recomendaciones para la implementación de test rápidos en el diagnóstico de VIH.”** Consultado el 6 de marzo de 2021.

15. Teggert, A. et al., Biomarkers for point-of-care diagnosis of sepsis, ***Micromachines,*** 2020, 11, 286.

16. OMS (2017). **“Improving the prevention, diagnosis and clinical management of sepsis.”** Consultado el 6 de marzo de 2021.

17. Lechuga, LM. et al. **“Nanophotonic Biosensors: Driving Personalized Medicine.”** Optics and Photonics, 1 de abril de 2020. Consultado el 6 de marzo de 2021.

18. Glutentox (n.d.). **“Test rápido para la Detección de Gluten en alimentos y bebidas.”** Consultado el 6 de marzo de 2021.

19. Ortega, S. **“Un test genético preembarazo que detecta 72 enfermedades recesivas.”** Consultado el 6 de marzo de 2021.

20. CIBER-BBN (n.d.). “**Microfluidic chip, procedures and uses.”** Consultado el 6 de enero de 2021.

21. McNeil, D.G. **“Far From Any Lab, Paper Bits Find Illness.”** New York Times, 26 de septiembre de 2011. Consultado el 6 de marzo de 2021.

22. Goyder, C., et al. **Impact of point-of-care panel tests in ambulatory care: a systematic review and meta-analysis, *BMJ Open,*** 2020, 10(2), e032132.

23. Ministerio de Sanidad – Gobierno de España (2018). **“Estadística de Gasto Sanitario Público.”** Consultado el 6 de marzo de 2021.

24. Fenin (2018). **“El diagnóstico in vitro hoy”.** Consultado el 8 de marzo de 2021.

25. McKinsey (2020). **“COVID-19 and the IVD industry: New market forces at play in pharmaceuticals and medical technology.”** Consultado el 5 de marzo de 2021.

26. Medtech (2020). “**European IVD Market Statistics Report 2020”.** Consultado el 5 de marzo de 2021.

27. PwC España (2020). **“Por qué el Point-of-Care-Testing es necesario para reducir la carga del sistema sanitario.”** Consultado el 5 de marzo de 2021.

28. Parupudi, T. et al. **Evidence-based point-of-care technology development during the COVID-19 pandemic, BioTechniques.** January 2021. Consultado el 4 de marzo de 2021.

29. Lingervelder, D. et al. **Point-of-care testing in primary care: A systematic review on implementation aspects addressed in test evaluations, *The International Journal of Clinical Practice,*** 17 de julio de 2019. Consultado el 4 de marzo de 2021.

30. GlobalNewsWire (2020). **“The rapid diagnostics market by revenue is expected to grow at a CAGR of 10% during the period 2019–2025.”** Consultado el 5 de marzo de 2021.

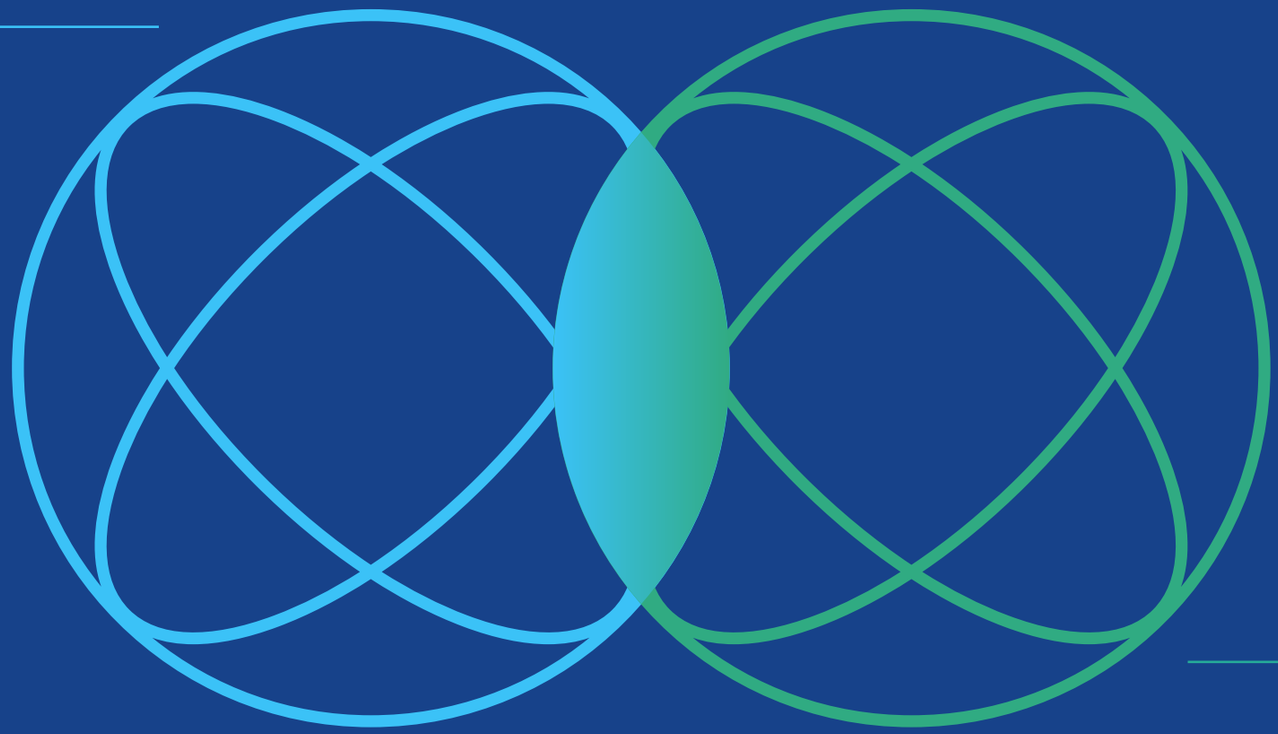
31. MedTech Europe (2020). **Impact of changes under the new EU IVD Regulation (EU) 2017/746 to international registrations.** Consultado el 5 de marzo de 2020.

32. MedTech Europe (2020). **Ensuring a successful transition to the new IVD Regulation in light of COVID-19.** Consultado el 5 de marzo de 2020.

08.
Supercomputación

Tecnología para calcular, simular y optimizar procesos

/ Resolución operaciones complejas
/ Gestión masiva de datos
/ Inteligencia Artficial



/ Acceso igualitario al cálculo complejo
/ Creación de tratamientos farmacológicos
/ Mejora y agiliza proceso sanitario

En clave

En 1996, el superordenador Deep Blue venció al campeón del mundo de ajedrez, Gary Kasparov. Los superordenadores son un prodigio de la ingeniería informática, que combinan la potencia de miles de procesadores, unidades de almacenamiento y módulos de memoria mediante conexiones de alta velocidad. Los componentes internos son muy similares a los ordenadores convencionales, los smartphones y las videoconsolas, pero gracias al trabajo en equipo de diferentes dispositivos, logran capacidades de cálculo inaccesibles a los equipos personales. Actualmente, el superordenador más potente está en Japón, tiene 7.630.848 núcleos y supera los 537 petaflops, es decir, realiza hasta 537.000 billones de operaciones por segundo. Los científicos e ingenieros utilizan la potencia de los superordenadores para analizar datos, realizar modelos matemáticos y crear simulaciones de fenómenos físicos, como la aerodinámica de un avión, el progreso de la bolsa o el avance de la crisis climática. Entender mejor estos sucesos facilita la comprensión del mundo en el que vivimos, y acelerará el desarrollo de tecnologías más eficientes y más sostenibles.

La tecnología

Ordenadores conectados que realizan billones de operaciones por segundo.

Los superordenadores permiten logros científicos que el intelecto humano, por sí solo, sería incapaz de alcanzar. Además, es una de las tecnologías que más ha avanzado en los últimos años. En 1985, los ordenadores de alto rendimiento procesaban 1,9 gigaflops; casi dos mil millones de operaciones por segundo. Actualmente, las videoconsolas comerciales son mil veces más potentes. Y al mismo tiempo, hay más de 500 superordenadores que superan el petaflop, es decir, son más de un millón de veces más potentes que sus antepasados de los años ochenta[1].

Pero, ¿qué es exactamente un superordenador, y en qué se diferencia de los ordenadores de sobremesa? Un ordenador tradicional, normalmente, tiene un único 'cerebro': el procesador. Este dispositivo electrónico le permite llevar a cabo operaciones matemáticas y, por tanto, procesar la información de manera muy rápida. En un superordenador se conectan miles de procesadores, que trabajan en equipo para procesar operaciones todos juntos. Gracias al funcionamiento en paralelo, los superordenadores pueden procesar grandes cantidades de datos extremadamente rápido, son aparatos ideales para llevar a cabo operaciones complejas como monitorizar una tormenta en tiempo real, llevar a cabo simulaciones que son fundamentales para el desarrollo científico, o incluso procesar los efectos especiales y las animaciones 3D de los últimos éxitos comerciales del cine. Además de las impresionantes capacidades de computación y procesado de datos, los superordenadores también son capaces de guardar enormes cantidades de datos, ofreciendo servicios digitales de almacenamiento como las

famosas 'nubes' que conservan todos nuestros correos electrónicos, fotografías y documentos online. Un ejemplo es el superordenador 'Summit', fabricado por IBM para el Departamento de Energía de EE. UU., que puede almacenar 250 petabytes de información, el equivalente a casi 30 millones de discos DVD. Summit combina más de 9000 procesadores, un 'cerebro' capaz de procesar a velocidades de 150 petaflops[2].

Por último, conviene destacar otra propiedad clave de los superordenadores: la conectividad y la cooperación. Porque, una vez más, la unión hace la fuerza. Gracias a las conexiones de red de alta velocidad, varios superordenadores pueden interconectarse para crear clústeres y redes, unas estructuras coordinadas que permiten maximizar la capacidad de cálculo[4]. En este sentido, el Ministerio de Educación y Ciencia español impulsó la creación de la Red Española de Supercomputación (RES) en 2007. La RES, liderada por el Barcelona Supercomputing Center, conecta 16 supercomputadores en 11 comunidades autónomas. Juntos, gracias a las conexiones de alto rendimiento que facilita RedIRIS, alcanzan una velocidad de procesamiento de 13 petaflops[5].

Los superordenadores son una herramienta tremendamente útil para el desarrollo científico y tecnológico. El propio Barcelona Supercomputing Center explica cómo estas máquinas nos ayudan a simular la realidad para entenderla mejor, abriendo un mundo de posibilidades insólitas. Algunas de las aplicaciones de la supercomputación permiten predecir la aerodinámica de un avión y detectar sus problemas sin necesidad de un túnel de viento, entender el funcionamiento y los posibles efectos secundarios de un medicamento antes de probarlo en modelos animales y en pacientes y predecir los efectos del cambio climático, así como de las medidas de reducción de emisiones planeadas por las empresas y los gobiernos. El director del Barcelona Supercomputing Center, Mateo Valero, opina que estas tecnologías son fundamentales para el avance de la sociedad. La cooperación entre ordenadores y 'clústeres' también abre las puertas a colaboraciones entre diferentes grupos de investigación. Por eso la RES trabaja para ampliar la cultura alrededor de la supercomputación en España, favorecer los trabajos multidisciplinares y fomentar el desarrollo de nuevas máquinas e infraestructuras[6].

La Red Española de Supercomputación (RES), liderada por el Barcelona Supercomputing Center, conecta 16 supercomputadores en 11 comunidades autónomas.

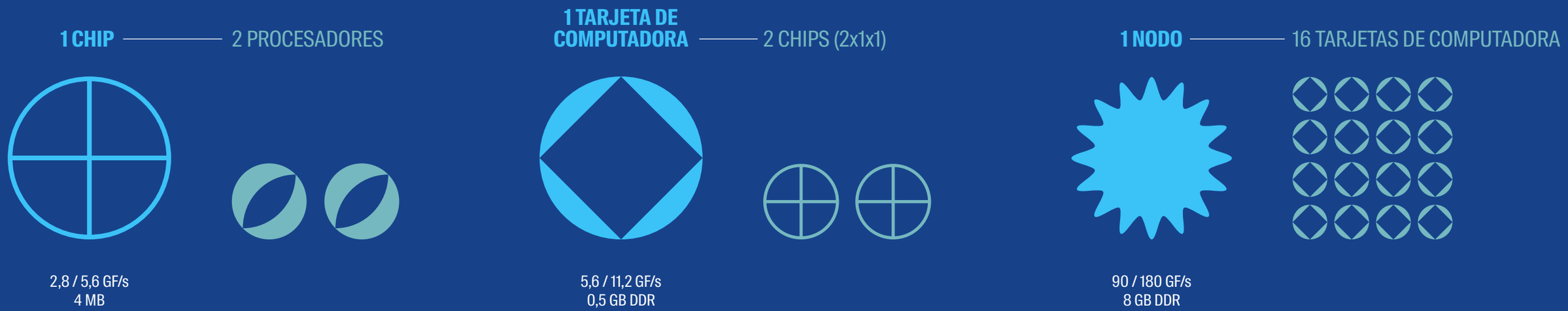
Durante la pandemia de COVID-19, la supercomputación ha sido fundamental para comprender mejor la estructura del coronavirus, diseñar fármacos para luchar contra los efectos de la enfermedad y desentrañar los mecanismos de transmisión. En este sentido, la Alianza Europea de Computación Avanzada (PRACE, por sus siglas en inglés) lanzó una convocatoria durante la primavera de 2020 para financiar y acelerar la investigación computacional que ayudara a mitigar el efecto de la pandemia. Gracias a esta convocatoria, varios grupos de científicos tuvieron acceso prioritario a diferentes superordenadores en Francia, Alemania, Italia, Suiza y España. Un año más tarde, PRACE anunció los resultados más exitosos, entre los que destacan varios estudios detallados de la estructura de la proteína espícula, fundamental en el proceso de infección del coronavirus; modelos que escanearon bases de datos de fármacos y compuestos químicos para identificar nuevos medicamentos antivirales; y detalladas simulaciones de mecánica de fluidos que permitieron comprender mejor la dinámica de los aerosoles y cómo se contagia la enfermedad. Un investigador de la Sorbona que participó en estos proyectos de PRACE, destaca en una entrevista la importancia de la supercomputación, que ha permitido algunas de las simulaciones más complejas hasta la fecha, fundamentales para encontrar respuestas y resultados en tiempo récord[7].

Y es que la supercomputación puede ayudarnos a resolver problemas extremadamente complejos; es una tecnología central para el avance científico y la innovación. La Comisión Europea aumentará su inversión en este campo durante los próximos años, tanto dentro de su programa de investigación 'Horizon Europe' como formando parte de los presupuestos generales de la UE[8]. La supercomputación es ahora una prioridad, clave para la recuperación económica del bloque[9].

Fuente: G. Almási et al. / Springer[3].

FIGURA 1.

ORGANIZACIÓN DE NODOS Y PROCESADORES. EN UN SUPERORDENADOR SON IMPORTANTES TRES FACTORES: EL NÚMERO DE DISPOSITIVOS, LA COMUNICACIÓN ENTRE ELLOS Y LA COOPERACIÓN. MÁS ALLÁ DE SER UN CONJUNTO DE PROCESADORES, UN SUPERORDENADOR TRABAJA EN SINCRONÍA PARA RESOLVER PROBLEMAS COMPLEJOS DE FORMA RÁPIDA Y EFICAZ.

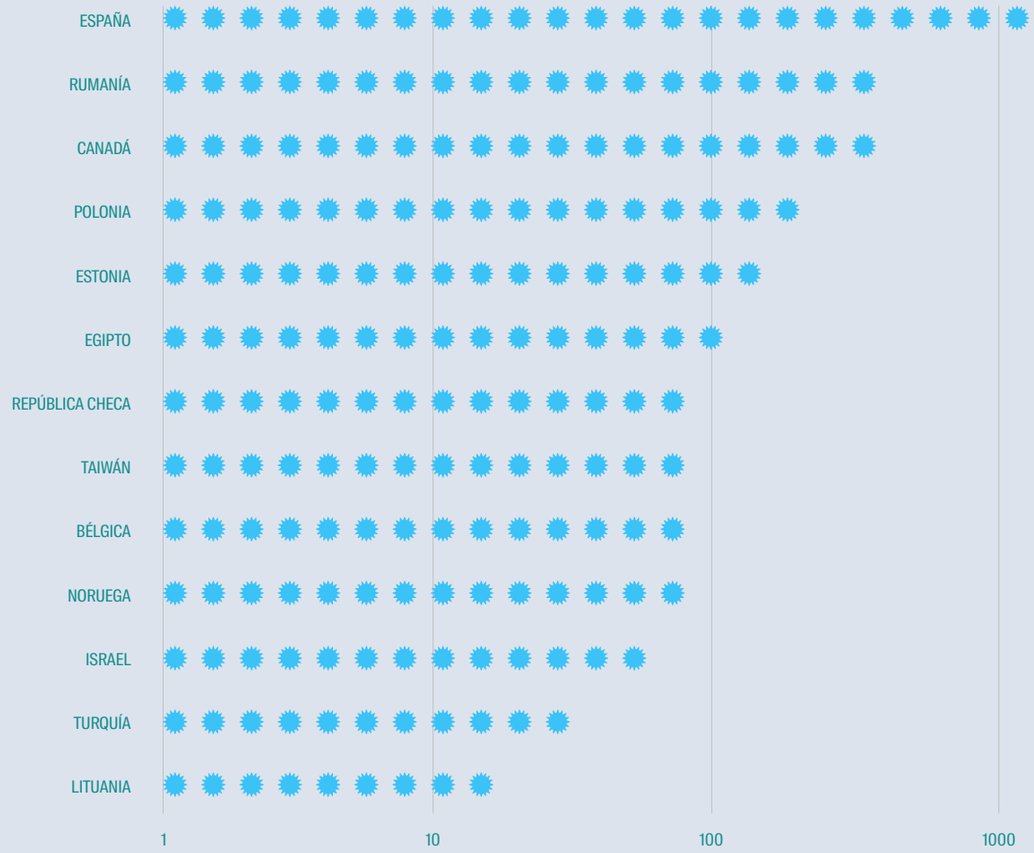




Fuente: RES (referencia 4).

FIGURA 2.

LA RED ESPAÑOLA DE SUPERCOMPUTACIÓN. LA RES AGLOMERA 16 SUPERORDENADORES EN 11 COMUNIDADES AUTÓNOMAS: FINISTERRAE2-CESGA (GALICIA), CALÉNDULA-SCAYLE (CASTILLA Y LEÓN), ALTAMIRA-UC (CANTABRIA) , CIBELES-UAM, XULA-CIEMAT, (MADRID), TURGALIUM-CIEMAT, LUSITANIA-COMPUTAEX (CASTILLA-LA MANCHA), PICASSO-UMA (ANDALUCÍA), TIRANT-UV (VALENCIA), PIRINEUS2-CSUC, CANIGÓ-CSUC, MARENOSTRUM-BSC/CNS, MINOTAURO-BSC/CNS, PIC-UAB (CATALUÑA), CAESARAGUSTA-UZ (ARAGÓN), UREDERRA-NASERTIC (NAVARRA) Y LA PALMA-IAC (CANARIAS).



Fuente: RES (referencia 4).

FIGURA 3.

LA POTENCIA DE LA RES. LOS DIFERENTES NODOS DE LA RES PROPORCIONAN A SUS USUARIOS UNA PARTE DE LA CAPACIDAD TOTAL DE CÁLCULO DE CADA UNO DE LOS 16 SUPERORDENADORES. EN TOTAL, LAS MÁQUINAS SUMINISTRAN UN TOTAL DE 13 PETAFLOPS, EQUIVALENTE A 13.000 BILLONES DE OPERACIONES POR SEGUNDO. LIDERA LA RED EL ORDENADOR MARENOSTRUM DEL BARCELONA SUPERCOMPUTING CENTER, QUE PROPORCIONA A LA RED MÁS DE 1000 TERAFLOPS, ALREDEDOR DE UN 10% DE SU CAPACIDAD.

Oportunidades

Microprocesadores conectados para controlar pandemias y mitigar la crisis climática.

La supercomputación acelera los avances en ciencia y tecnología. Mateo Valero explica cómo, hasta ahora, la ciencia se ha apoyado en dos pilares fundamentales: la teoría y la experimentación. Los beneficios que aportan los superordenadores son tan importantes que, para muchos, suponen un tercer pilar. Gracias a estas máquinas podemos realizar cálculos complejos, simulaciones y análisis de grandes cantidades de datos que nos ayudan a encontrar respuestas inaccesibles a las técnicas tradicionales[10]. Combinada con otros avances como la inteligencia artificial, la supercomputación nos permitirá entender fenómenos complejos como el funcionamiento del cerebro, nos ayudará a identificar enfermedades a partir de análisis genéticos y permitirá el desarrollo de herramientas de análisis del lenguaje tan sofisticadas que serán indistinguibles de un humano[11].

Uno de los campos más prometedores para la supercomputación es el análisis meteorológico y el modelado climático. En primer lugar, debido a los efectos de la crisis climática y las altas concentraciones de dióxido de carbono, los fenómenos meteorológicos extremos (huracanes, inundaciones, incendios) serán cada vez más frecuentes. Por ello es fundamental contar con herramientas que nos permitan analizar los datos y las medidas meteorológicas de forma rápida y que, al mismo tiempo, consigan predicciones fiables. Los modelos de supercomputación más avanzados de IBM permiten elaborar pronósticos con una resolución dos veces mejor que los sistemas tradicionales y con una frecuencia mucho mayor. Gracias a esta precisión pueden localizarse eventos que pasan desapercibidos a la mayoría de los sistemas actuales, lo que facilita el despliegue de medidas de prevención y contención[12]. Más allá de la meteorología, los superordenadores son una herramienta fundamental en el análisis climático, es decir el estudio de las variaciones de temperatura, precipitación, presión y otros factores a lo largo de largos periodos de tiempo. La supercomputación permite la creación de modelos globales que, además, tienen en cuenta los movimientos oceánicos, la química atmosférica, el avance del deshielo polar y la mecánica de fluidos, todo a la vez gracias a las grandes capacidades de procesamiento y

las conexiones de red. Según los expertos del Barcelona Supercomputing Center, estos cálculos podrían llevar varias décadas utilizando ordenadores de sobremesa. Sin embargo, los superordenadores permiten llevarlas a cabo en apenas unos días. Los organismos de vigilancia de la ONU, como el IPCC[13], utilizan estos modelos computacionales para ajustar sus predicciones de aumento de temperatura global y ajustar sus recomendaciones en la reducción de emisiones de gases de efecto invernadero[14].

Poco a poco, los superordenadores también se volverán herramientas fundamentales en otros sectores como la industria y la ingeniería. En estos campos, el desarrollo de máquinas cada vez más potentes acelerará la adopción de tecnologías de procesamiento de imágenes, reconocimiento de patrones, visión por ordenador y robótica, entre otros.

La industria petroquímica, por ejemplo, utiliza tecnologías de supercomputación para optimizar los procesos de extracción y distribución de combustibles, así como para el desarrollo de medios de transporte más ligeros, que permiten una utilización de recursos más eficiente. También son herramientas clave en la implantación de nuevos dispositivos conectados y el crecimiento del internet de las cosas. En Chicago, EE. UU., utilizaron los recursos del superordenador Summit de IBM para analizar los datos recogidos por 5.000 sensores conectados por toda la ciudad, creando modelos en tiempo real que sirvieron para crear soluciones de transporte y seguridad[15]. Como se ha mencionado anteriormente, la supercomputación también jugará un papel importante en el desarrollo de nuevos fármacos, nuevas estrategias de salud (como, por ejemplo, un mejor control de posibles pandemias) y la implementación de la telemedicina del futuro que, entre otras muchas cosas, permitirá el análisis de constantes vitales y otros parámetros en tiempo real.

Algunos ejemplos exitosos incluyen el desarrollo de nuevas prótesis robóticas, donde se requiere la supercomputación para analizar e interpretar señales; y el diseño de complejos estudios alimentarios donde, gracias a la capacidad de cálculo de los ordenadores, pudieron analizarse al mismo

tiempo los efectos de cambios en la dieta en grupos de ochocientos pacientes[16]. Los resultados de este trabajo, destacados en el New York Times, sorprendieron a muchos especialistas. Y es que los superordenadores observaron que, dependiendo de factores como la genética o la microbiota intestinal, hay pacientes que experimentan subidas de azúcar mucho más pronunciadas tomando un pomelo que tomando una tarta de chocolate. Este trabajo revolucionó el campo de los estudios médicos aleatorizados. En este tipo de estudios, es muy complicado asegurar que los pacientes están siguiendo las indicaciones de los investigadores en todo momento y, sobre todo, requieren largos periodos de tiempo para que los efectos sean observables, lo que dificulta mantener unas condiciones controladas constantes. Sin embargo, gracias a la capacidad de los superordenadores de analizar grandes cantidades de datos en poco tiempo, puede ampliarse el número de pacientes y reducirse la duración del estudio. Además, estas estrategias suelen reducir sesgos asociados a los estudios observacionales, ya que toda la información que interpretan los ordenadores está basada en medidas objetivas, como los resultados de un análisis de sangre[17]. Ya en 2014, la Comisión Europea elaboró un informe estudiando las diferentes oportunidades de la supercomputación en el mundo de la salud y la farmacología, en el que destaca la importancia de seguir invirtiendo en estas tecnologías, así como de seguir apoyando 'clústeres' y redes como la RES y PRACE[18].

Fuente: BEI.

FIGURA 4.

INVERSIÓN EN SUPERCOMPUTACIÓN POR SECTORES (2013-2028). ESTA FIGURA REPRESENTA LA INVERSIÓN EN SUPERCOMPUTACIÓN DIVIDIDA EN DIFERENTES SECTORES INDUSTRIALES. PUEDE VERSE QUE CASI TODOS LOS SECTORES HAN AUMENTADO SU INVERSIÓN EN ESTA TECNOLOGÍA EN 2018 CON RESPECTO A LOS VALORES DE 2013, SIENDO LOS SECTORES ACADÉMICO Y GUBERNAMENTAL LOS QUE MÁS CRECIMIENTO HAN EXPERIMENTADO.



Retos

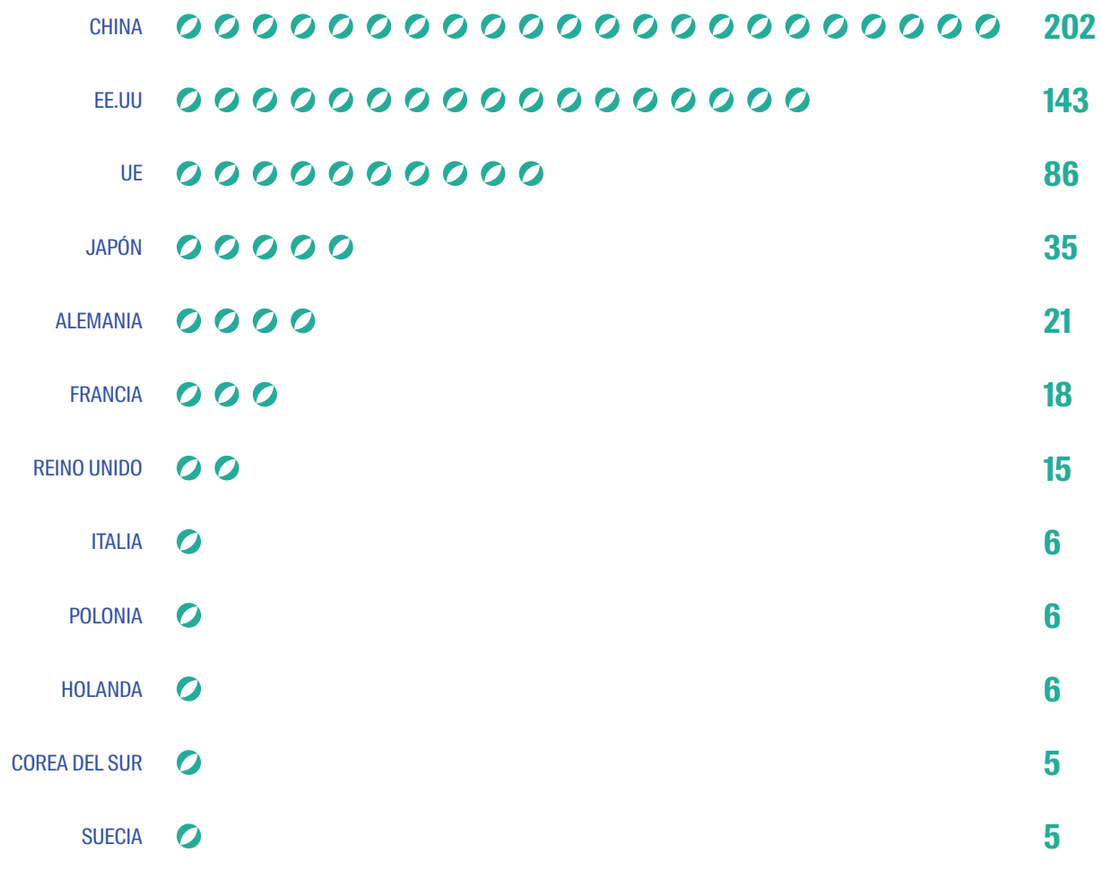
Supercomputación: una apuesta de futuro para Europa.

En 2018, el Banco Europeo de Inversiones (BEI) dio la voz de alerta: era necesario que todo el ecosistema de supercomputación reaccionara. Su mensaje podía sintetizarse en un dato: mientras que un tercio de la demanda mundial de servicios de supercomputación proviene de la industria europea, las pymes y los investigadores, solo el 5% utilizaban las capacidades de supercomputación proporcionadas por centros ubicados en nuestro continente. Existe un grave problema de fragmentación, según el diagnóstico del BEI, porque la mayoría de los centros de supercomputación tienden a ser organizaciones independientes con un vínculo cercano a una institución académica local o incrustadas dentro un grupo de investigación. La mayoría de estos centros se financian con presupuestos nacionales o, en ocasiones, incluso regionales, lo que limita la coordinación entre equipos[19]. Y esto no es todo. La totalidad de los supercomputadores instalados en Europa también dependen, en gran medida, de tecnología no europea, lo que limita la capacidad para competir de manera efectiva e introduce un amplio abanico de desafíos en varios niveles de soberanía de datos, propiedad intelectual, seguridad y geopolítica[20]. Europa solo tiene nueve supercomputadores entre los 25 mejores del mundo y, de momento, el mejor clasificado es el HPC5, puesto en marcha en febrero de 2019 por la empresa energética italiana Eni. Actualmente, HPC5 es el sexto superordenador más potente del mundo y el líder entre los promovidos por la iniciativa privada.

Fuente: BEI.

FIGURA 5.

NÚMERO DE SUPERORDENADORES EN EL MUNDO. ESTA GRÁFICA REPRESENTA EL NÚMERO DE SUPERORDENADORES DE DIFERENTES REGIONES DENTRO DEL LISTADO TOP500, UN SISTEMA QUE CATALOGA Y CLASIFICA LAS QUINIENTAS MÁQUINAS DE CÁLCULO MÁS POTENTES DEL MUNDO. ACTUALMENTE, LA UE (86) ESTÁ MUY POR DETRÁS DE EE. UU. (143) Y CHINA (202), POR LO QUE ES FUNDAMENTAL SEGUIR DESARROLLANDO LA INFRAESTRUCTURA EUROPEA PARA GARANTIZAR EL LIDERAZGO EN LOS PRÓXIMOS AÑOS.



El mismo año de publicación del informe del BEI se creó el consorcio europeo EuroHPC-JU integrado por la UE (representada por la Comisión Europea), 32 estados participantes (26 Estados miembros y 6 países asociados), y dos miembros privados: la Plataforma Tecnológica Europea para la Asociación de Computación de Alto Rendimiento (ETP4HPC) y la Big Data Value Association (BDVA). Inicialmente, se dotó a este consorcio de un presupuesto de 1.100 millones de euros, con la previsión de que actuara hasta 2026, para igualar la vida operativa de sus primeros sistemas HPC adquiridos en 2019-20. Pero, a la vista de los movimientos que se han ido produciendo en el ámbito de la supercomputación, se ha planificado un nuevo periodo de actuación hasta 2033, en el que dispondrá de 8.000 millones de presupuesto[21]. La primera misión de EuroHPC-JU será incorporar cinco sistemas de petaescala y tres de pre-exaescala (1000 veces más potentes). Los proyectos escogidos son, en el primer caso, MeluXina, 10 petaflops en Luxemburgo; VEGA, de 8,5 petaflops en Estonia; Karolina, de 9,13 petaflops en la República Checa; PetaSC, de 4,44 petaflops en Bulgaria; y Deucalion, de 7,7 petaflops en Portugal. En cuanto a los tres proyectos pre-exascala, son LUMI, un sistema de 375 petaflops en Finlandia; Leonardo, de 250 petaflops en Italia; y el MareNostrum5, el próximo gran proyecto del Barcelona Supercomputing Center[22].

Entre los proyectos escogidos por el consorcio europeo EuroHPC-JU destaca el MareNostrum5 del Barcelona Supercomputing Center.

Para articular este ecosistema, la Comisión Europea ha aprobado un reglamento que establece mecanismos transparentes de asignación de tiempo de cálculo, lo que incluye la prestación de servicios al sector privado: el consorcio reservará hasta el 20% de sus recursos informáticos para fines comerciales[23]. Esta limitación contrasta con la creciente importancia de la supercomputación en sectores clave de la economía europea, como el aeroespacial, la automoción, la energía, la fabricación y los servicios financieros. Según BEI, las pymes europeas más tradicionales se están quedando rezagadas en

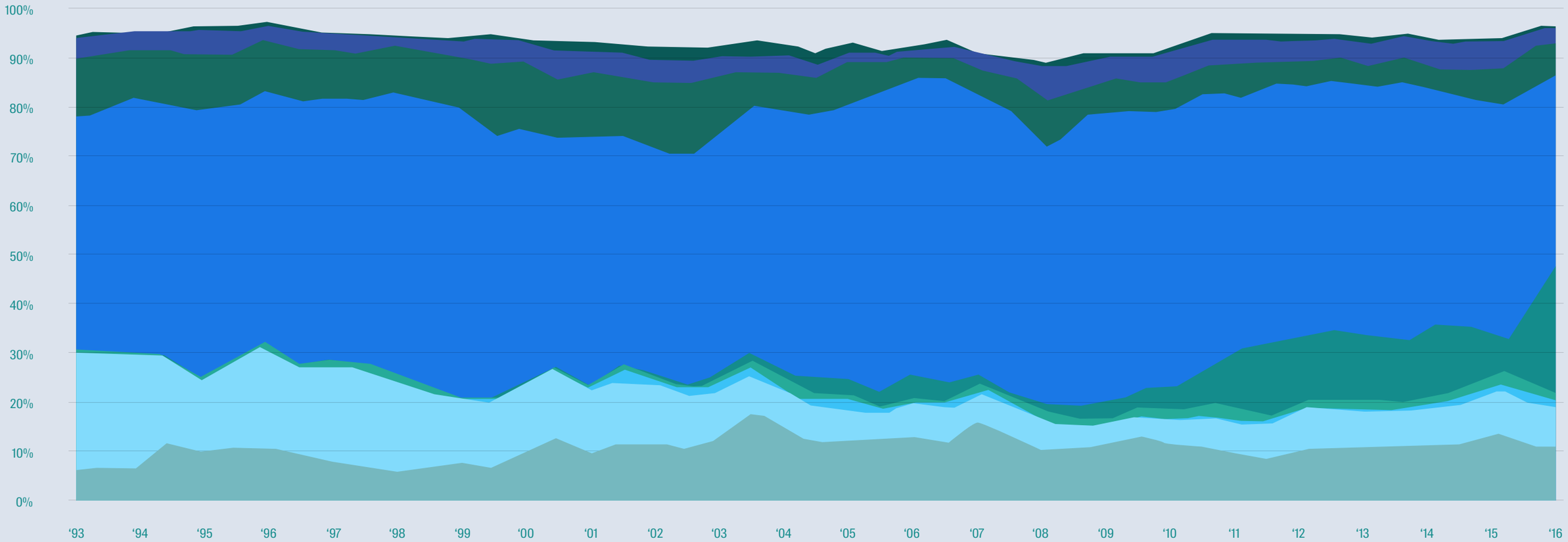
este sentido; quizás convendría aumentar la partida de fondos y recursos computacionales dedicados al sector privado. En cualquier caso, habrá que esperar para analizar el alcance de estas medidas. Los movimientos que pusieron en alerta al BEI tienen como protagonistas a China y EE. UU. Este último tiene previsto implementar un total de 6 o 7 máquinas con sistemas de exascala entre 2020 y 2025, con la particularidad de que todos los procesadores y los proveedores serán estadounidenses. El Gobierno chino, por su parte, proyecta 5 ó 6 máquinas con sistemas de exascala durante el mismo periodo y, debido a las recientes políticas de embargo implantadas por los EE. UU., también contarán con procesadores y proveedores exclusivamente chinos: Sunway, Sugon y NUDT[24].

Aunque quizás un poco tarde, Europa se ha puesto en marcha con un plan que no sólo se basa en añadir capacidad y en incrementar infraestructuras, sino que contempla también la convergencia de todas las tecnologías digitales. Ese es el objetivo de la Iniciativa TransContinuum, que promueve un cambio de paradigma: diseñar sistemas que abarquen millones de dispositivos informáticos distribuidos sobre instrumentos científicos, desarrollar el internet de las cosas, y fomentar la creación de nuevas supercomputadoras y sistemas ‘nube’ a través de redes LAN, WLAN y 5G. Asistimos a una creciente miniaturización de los dispositivos informáticos y de almacenamiento, a su implementación ubicua en los centros de datos. TransContinuum plantea diseñar una nueva arquitectura global del sistema para adaptarse a los cambios, tanto ambientales como tecnológicos, que se esperan en las próximas décadas e integrar horizontalmente a los diferentes actores del sector[25]. Uno de los miembros de esta iniciativa, HiPEAC, la describe como la entrada en la era de los sistemas ciberfísicos cognitivos, un avance hacia el continuo de computación. HiPEAC, por otro lado, propone distribuir el software a través de plataformas y dispositivos para coordinar la nube, los supercomputadores y los centros de datos[26]. El vicepresidente de Hewlett Packard-Enterprise, Pete Ungaro, que lidera las iniciativas de supercomputación de la compañía, sostiene en un artículo que estamos en el inicio de la “Era de la Visión”, en la que los datos dan paso al análisis

Fuente: BEI/Top500.

FIGURA 6.

AVANCE DE LA SUPERCOMPUTACIÓN EN LOS ÚLTIMOS 25 AÑOS. ESTA FIGURA MUESTRA EL DESARROLLO DE LOS SISTEMAS DE SUPERCOMPUTACIÓN ENTRE 1993 Y 2016. LOS PAÍSES EUROPEOS (EN GRIS) Y EE. UU. (EN VERDE) HAN MANTENIDO UNA PROPORCIÓN MÁS O MENOS CONSTANTE DURANTE ESTOS AÑOS, AUNQUE SE APRECIA UNA LIGERA CAÍDA DE LA INVERSIÓN EN LA UE. DESTACA ESPECIALMENTE EL ASCENSO DE CHINA, QUE EMERGE A FINALES DE LOS 90 Y ACTUALMENTE LIDERA EL PANORAMA MUNDIAL.



como elemento primordial. Muy pronto, se necesitarán ordenadores más grandes, así como nuevos algoritmos de cálculo con inteligencia artificial, todos ellos impulsados por tecnologías como 5G y el internet de las cosas[27].

Conforme aumenta la capacidad de procesamiento, la supercomputación se convierte en un elemento cada vez más próximo al usuario final. Los avances en este sentido son evidentes en el ámbito de la movilidad, donde destacan la aviación y la automoción. McKinsey habla de las unidades de control de dominio como un nuevo segmento de mercado para unidades informáticas de alto rendimiento que se implementarán en vehículos, especialmente para sistemas de conducción asistida y conducción autónoma. General Motors, por ejemplo, ya diseña vehículos con sistemas capaces de transmitir hasta 4,5 terabytes por hora, y BMW ha comenzado a participar en GenXComm, una empresa con sede en Texas que trabaja para mejorar el rendimiento de las redes de comunicación 5G y planea vehículos autónomos capaces de transmitir 40 terabytes al día aprovechando el nuevo ancho de banda. Como consecuencia, los fabricantes se están acercando a los proveedores y a las empresas de tecnología para obtener acceso a la propiedad intelectual, participar en el desarrollo tecnológico y asegurar el suministro crítico. Se pueden ver movimientos de este tipo en el área de los chips informáticos de alto rendimiento y otras tecnologías de avance potencial como LIDAR, una tecnología similar al radar que utiliza luz para transmitir la información. Estas asociaciones a veces incluyen fuertes inversiones financieras, como las apuestas de Ford por LiDAR Velodyne y la colaboración entre Volkswagen y Microsoft en la nube[28].

La situación de España

Centros líderes en ciencia e innovación.

La RES se rige por las normas de las infraestructuras científicas y técnicas única y está coordinada por el Barcelona Supercomputing Center. Durante 2019, destinó casi 550 millones de horas a actividades científicas propuestas por investigadores de diferentes campos científicos, lo que supuso un incremento del 69,7% respecto al año anterior, con una tasa de éxito general de la convocatoria del 68%. Ese mismo año, se incorporó una nueva distribución de campos científicos: Química del Estado Sólido, Química de Sistemas Biológicos, Ingeniería y Matemáticas y Física. Cada una de estas áreas está liderada por investigadores de referencia en sus respectivos campos en diferentes universidades y centros de investigación españoles. Gracias a los recursos de la RES, en 2019 se publicaron 138 artículos científicos, en los que colaboraron más de 950 científicos de todo el mundo.

De todos los centros españoles de supercomputación, el Barcelona Supercomputing Center es uno de los más activos promoviendo el emprendimiento en su ecosistema, así como el lanzamiento de *spin-off*. Desde su creación, el centro ha promovido la creación de 10 empresas, generando 93 puestos de trabajo y captando 3,5 millones de euros en fondos y ayudas a la investigación. Entre las *spin-off* surgidas del Barcelona Supercomputing Center destacan ELEM Biotech en el campo de la biomedicina; Energy Aware System, que vigila la eficiencia energética de los propios centros de supercomputación; Frontwave Imaging, impulsada junto al Imperial College de Londres, que mejora las herramientas diagnósticas de cáncer de mama;

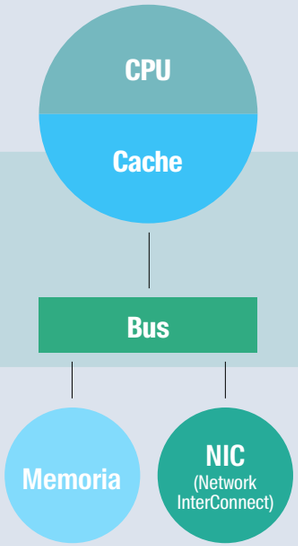
Mitiga Solutions, que comercializa soluciones capaces de evaluar y gestionar los peligros volcánicos; y Nextmol, que desarrolla herramientas de simulación y análisis de datos para acelerar el diseño de nuevos productos químicos. Grandes empresas españolas que investigan utilizando la capacidad de computación del Barcelona Supercomputing Center, entre las que se encuentra Repsol, que puso en marcha su área de investigación y desarrollo en colaboración con el centro barcelonés. El Barcelona Supercomputing Center también firmó acuerdos con Aigües de Barcelona, para el desarrollo de soluciones avanzadas en análisis de datos para el sector del agua; con Almirall, para identificar asociaciones sin precedentes de enfermedades diana en indicaciones dermatológicas; y con AstraZeneca y Grifols para desarrollar formulaciones de sus vacunas contra el SARS-CoV-2. Además, Iberdrola y SEAT utilizan los superordenadores para llevar a cabo simulaciones de aerodinámica y mecánica de fluidos: Iberdrola ha trabajado en la optimización de parques de aerogeneradores y en modelos para la predicción del viento; y SEAT ha investigado la física de la rotación de las ruedas y su impacto en el funcionamiento de la aerodinámica de los vehículos[29].

Fuente: ETP4HPC.

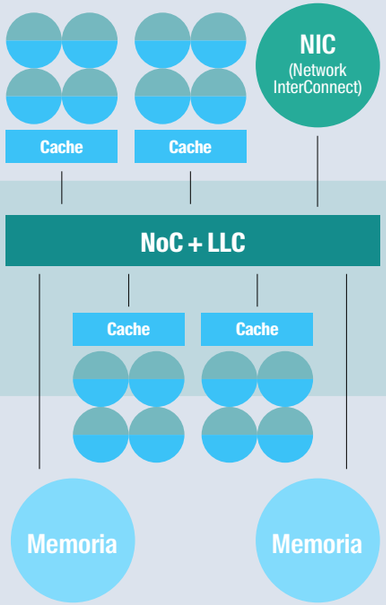
FIGURA 7.

EL FUTURO DE LA SUPERCOMPUTACIÓN. LOS AVANCES EN INFORMÁTICA HAN PERMITIDO EL DESARROLLO DE LOS SUPERORDENADORES, DISPOSITIVOS CON UNAS CAPACIDADES DE CÁLCULO, ALMACENAJE Y CONECTIVIDAD INUSITADAS. ESTÁ PREVISTO QUE LA CAPACIDAD DE ESTOS DISPOSITIVOS SIGA CRECIENDO DURANTE LOS PRÓXIMOS AÑOS A PESAR DE LA DESACELERACIÓN DE LA LEY DE MOORE, GRACIAS A LA INVESTIGACIÓN EN NUEVOS SISTEMAS ARQUITECTÓNICOS PARA GESTIÓN DE DATOS Y AL DESARROLLO DE LA COMPUTACIÓN CUÁNTICA.

ARQUITECTURA MONO-NÚCLEO PARA ACTUACIÓN EN UN ÚNICO SUBPROCESO.



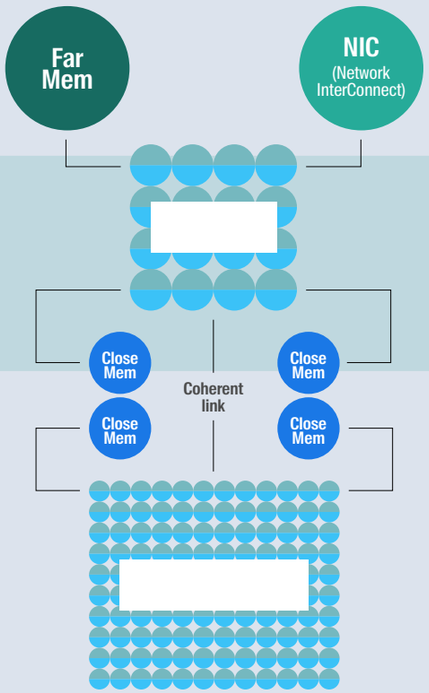
2006
FINAL ESCALA DE DENNARD



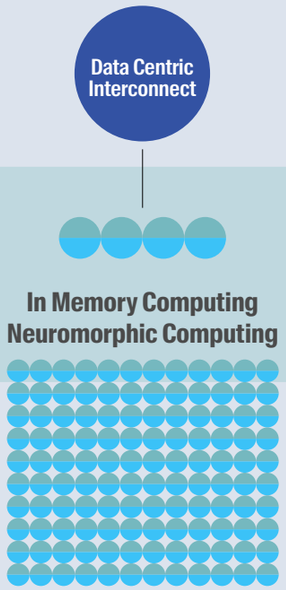
ARQUITECTURA MULTI-NÚCLEO PARA PROCESOS EN PARALELO.

2016

ARQUITECTURA HETEROGÉNEA PARA EFICIENCIA ENERGÉTICA.



2026
LA LEY DE MOORE SE REDUCE



ARQUITECTURA DISRUPTIVA PARA PROCESADO Y GESTIÓN DE DATOS.

Computación cuántica: la memoria invade los procesos lógicos.

Conclusiones

El momento de apostar por los superordenadores.

La supercomputación es una tecnología que ha permitido avances revolucionarios. El desarrollo de nuevos ordenadores, todavía más potentes, transformará casi todos los sectores industriales, desde el desarrollo de nuevos fármacos y sistemas de salud conectados hasta la creación de procesos de fabricación más eficientes y tecnologías más sostenibles. La capacidad de cálculo de los ordenadores será fundamental para comprender el avance de pandemias como la causada por el coronavirus SARS-CoV-2 y para analizar, comprender y mitigar los efectos de la crisis climática. Por tanto, es importante que tanto España como la Unión Europea continúen apostando por el desarrollo de centros de supercomputación y fomentando la colaboración entre diferentes nodos. Actualmente, China y EE. UU. lideran el mercado, pero la Comisión Europea espera poder revertir esta situación gracias a fuertes inversiones de capital durante la próxima década, al mismo tiempo que apoya las iniciativas de cooperación y conectividad entre proyectos existentes para maximizar las capacidades de cálculo. El Barcelona Supercomputing Center y la RES son ejemplos a seguir en términos de liderazgo e innovación, pero aún así necesitan multiplicar su presupuesto en los próximos años para garantizar una posición privilegiada para nuestro país en un futuro donde los superordenadores serán una herramienta indispensable.

1. Yanes, J. **“El top 10 de los supercomputadores, los nuevos gigantes científicos.”** BBVA Openmind, 30 de septiembre de 2019. Consultado el 17 de abril de 2021.

2. Futuro Eléctrico (n.d.). **“Supercomputadoras: Qué son, cómo funcionan y cuáles son las mejores del mundo.”** Consultado el 17 de abril de 2021.

3. G. Almási et al. **“An Overview of the Blue Gene/L System Software Organization.”** ***European Conference on Parallel Processing,*** 1 de junio de 2004. Consultado el 22 de abril de 2021.

4. NetApp (n.d.). **“What is High-Performance Computing?”** Consultado el 17 de abril de 2021.

5. RES (n.d.). **“Nodos de la RES.”** Consultado el 17 de abril de 2021.

6. Salas, J. **“Simular la realidad para entenderla: los éxitos de la supercomputación española.”** Materia, 29 de enero de 2014. Consultado el 17 de abril de 2021.

7. Peckham, O. **“PRACE Looks Back on a Year of COVID-19 Supercomputing.”** HPC Wire, 4 de febrero de 2021. Consultado el 17 de abril de 2021.

8. Comisión Europea (2021). **“The 2021-2027 Multiannual Financial Framework: Digital shines through in the EU’s long-term budget.”** Consultado el 17 de abril de 2021.

9. Comisión Europea (2021). **“High-Performance Computing.”** Consultado el 17 de abril de 2021.

10. Herranz, A. **“Sin la supercomputación habría descubrimientos imposibles, es un acelerador de la ciencia y la ingeniería, Mateo Valero.”** Blog Lenovo, 11 de abril de 2017. Consultado el 17 de abril de 2021.

11. Langston, J. **“Microsoft announces new supercomputer, lays out vision for future AI work.”** Microsoft AI Blog, 19 de mayo de 2020. Consultado el 17 de abril de 2021.

12. Morris, A. **“HPC Brings The Heat to Impacts of Global Warming.”** HPC Wire, 28 de mayo de 2019. Consultado el 17 de abril de 20121.

13. Panel Intergubernamental del Cambio Climático, conocido por sus siglas en inglés: IPCC, *Intergovernmental Panel on Climate Change*.

14. Sánchez, E. **“Sin la supercomputación se tardaría decenas de años en simular el impacto del cambio climático.”** El País, 15 de diciembre de 2019. Consultado el 17 de abril de 2021.

15. Raden, N. **“How supercomputers found their industry mojo - the evolution of high performance computing.”** 20 de enero de 2021. Consultado el 17 de abril de 2021.

16. Fagan, J. **“Why High-Performance Computing is Important to Healthcare.”** NetApp, 5 de agosto de 2019. Consultado el 17 de abril de 2021.

17. Topol, E. **“The A.I. Diet.”** The New York Times, 2 de marzo de 2019. Consultado el 17 de abril de 2021.

18. Comisión Europea (2014). **“Workshop Report High Performance Computing in Health Research.”** Consultado el 17 de abril de 2021.

19. BEI (2018). **“Financing the future of supercomputing.”** Consultado el 17 de abril de 2021.

20. Ministerio de Asuntos Económicos y Transformación Digital (2021). **“Faster than the future.”** Consultado el 17 de abril de 2021.

21. Comisión Europea (2020). **“State of the Union: Commission proposes new regulation for the European High Performance Computing Joint Undertaking – Questions and Answers.”** Consultado el 17 de abril de 2021.

22. ETP4HPC (2021). **“ETP4HPC Annual Report 2020.”** Consultado el 17 de abril de 2021.

23. EuroHPC-JU (2021). **“Access Policy of the EuroHPC Joint Undertaking Supercomputers.”** Consultado el 17 de abril de 2021.

24. ETP4HPC (2020). **“European HPC Research Priorities 2021-2024.”** Consultado el 17 de abril de 2021.

25. ETP4HPC (2020). **“TransContinuum Initiative (TCI): Our Vision.”** Consultado el 17 de abril de 2021.

26. HiPEAC (2021). **“HiPEAC Vision 2021.”** Consultado el 17 de abril de 2021.

27. Ungaro, P. **“Why we must democratize access to high-performance computing.”** World Economic Forum – The Davos Agenda, 13 de enero de 2021. Consultado el 17 de abril de 2021.

28. McKinsey (2019). **“Automotive software and electronics 2030.”** Consultado el 17 de abril de 2021.

29. RES (2020). **“ANNUAL SUMMARY 2019”.** Consultado el 17 de abril de 2021.

09.

Agricultura de precisión

Una oportunidad para conseguir cultivos sostenibles

/ Mayor rendimiento agrícola
/ Reducción de costes
/ Oportunidad económica global



/ Reducción gasto hídrico
/ Reducción terrenos para explotación agrícola
/ Conservación ecosistemas autóctonos
/ Reducción emisiones
/ Reducción uso fertilizantes

En clave

En 2050, la población mundial habrá alcanzado los 10.000 millones de habitantes. Sin embargo, los suelos serán cada vez más yermos, los acuíferos estarán más contaminados y la crisis climática provocará temperaturas medias mucho más altas. Por ello, es fundamental rediseñar la agricultura. Necesitamos procesos basados en la economía circular y las tecnologías avanzadas que sean sostenibles, eficientes y todavía más productivas. Una solución puede ser la agricultura de precisión, basada en reimaginar la forma en la que entendemos la producción y mantenimiento de cultivos y en la implantación de dispositivos conectados y automatizados que mejoren el rendimiento y minimicen los desperdicios.

La tecnología

Conectar satélites, tractores y teléfonos para conseguir una agricultura eficiente.

La agricultura es responsable de un 10% de las emisiones de gases de efecto invernadero[1]. Es fundamental diseñar tecnologías que nos permitan optimizar los cultivos para frenar la crisis climática. Al mismo tiempo, la población mundial continúa aumentando y envejeciendo, y los recursos naturales, como el agua potable, son cada vez más limitados. Por tanto, estas soluciones deben contribuir a diseñar una agricultura más eficiente, sostenible y respetuosa con el medio ambiente[2]. Una de las propuestas más atractivas en este sentido es la agricultura de precisión, también conocida por su nombre en inglés: *smart farming*. Para muchos, estos sistemas representarán la tercera gran revolución de la agricultura, después de la introducción de los fertilizantes artificiales y la creación de los métodos de modificación genética, a principios y finales del siglo pasado, respectivamente[3].

En realidad, la agricultura de precisión es un compendio de muchas tecnologías diferentes. Por un lado, se aprovechan técnicas de medida, geolocalización y análisis para valorar la calidad del suelo, detectar la humedad, evaluar la madurez de los cultivos y otros parámetros. Gracias a todos estos datos se puede optimizar la productividad, reducir el uso de recursos naturales y el impacto sobre el medioambiente. También se aprovechan los últimos avances en conectividad y comunicaciones para mejorar los tiempos de respuesta, ace-

lerar la toma de decisiones y controlar el rendimiento de los cultivos prácticamente en tiempo real. Por último, la agricultura de precisión también engloba la renovación de la maquinaria agrícola y la implementación de nuevos sistemas, entre ellos los vehículos autónomos, que son más seguros, más eficaces y más precisos, tal y como veremos a continuación[4].

Para controlar la calidad de los cultivos existen diferentes alternativas. A pequeña escala, pueden utilizarse drones, pequeños vehículos aéreos no tripulados controlados de forma remota. Estos aparatos pueden captar imágenes, realizar medidas y tomar datos que arrojan información sobre el estrés hídrico de los cultivos, las potenciales deficiencias nutricionales de las plantas, la aparición de plagas, enfermedades y otras amenazas, así como el avance y el desarrollo de las plantaciones. Gracias a la información proporcionada por los drones, los agricultores pueden ajustar mejor las cantidades de fertilizantes, plaguicidas y herbicidas, y localizar estas acciones únicamente en las zonas del cultivo que verdaderamente las requieran. Esta tecnología nos permite disponer de datos de los cultivos en tiempo real, además de suponer un tremendo ahorro en términos económicos, aumenta la sostenibilidad del proceso: reducir las cantidades de fertilizantes, por ejemplo, minimiza la eutrofización del medio, la proliferación de microorganismos y otras especies invasoras y la contaminación de ríos, lagos y acuíferos.

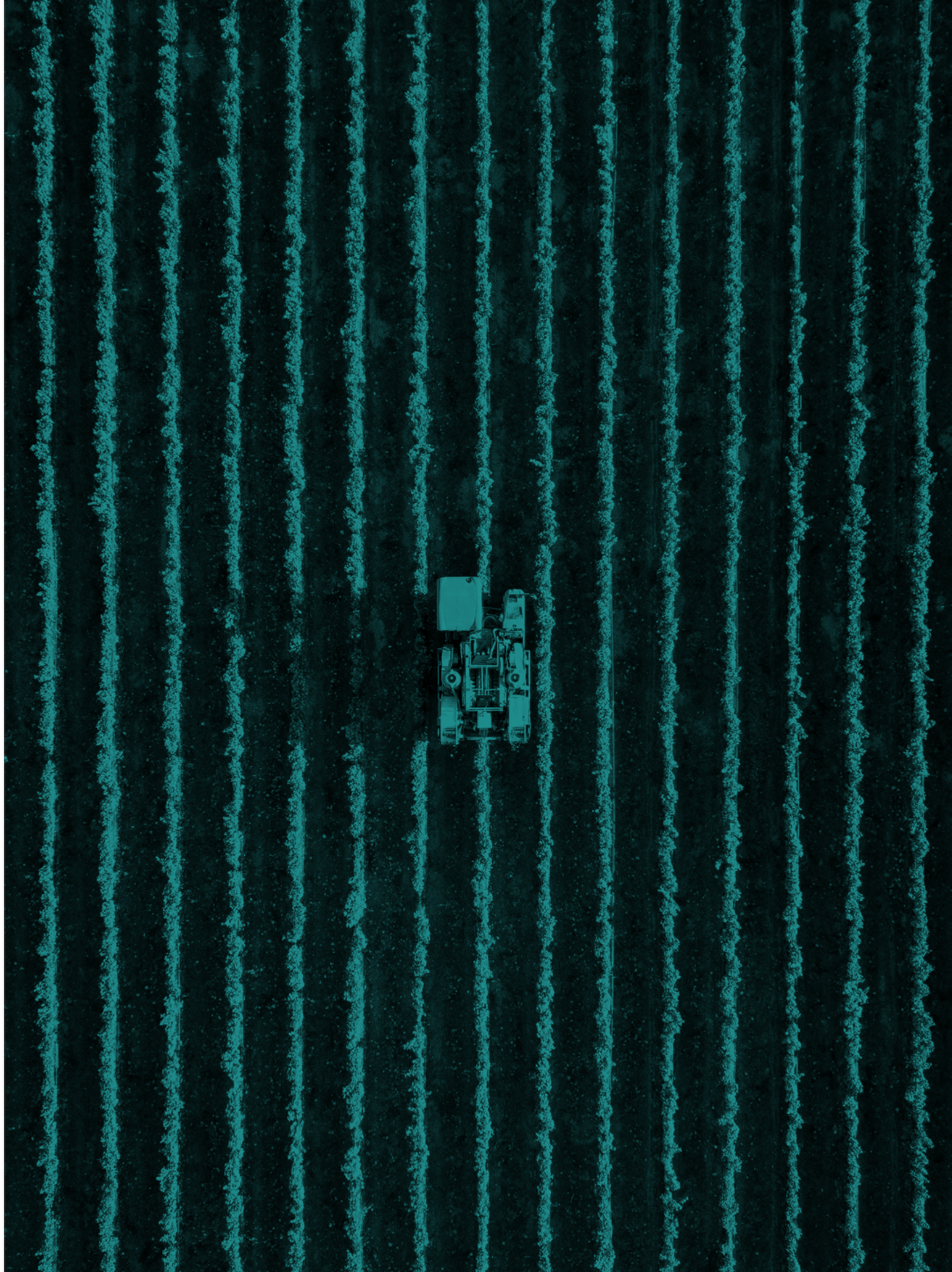




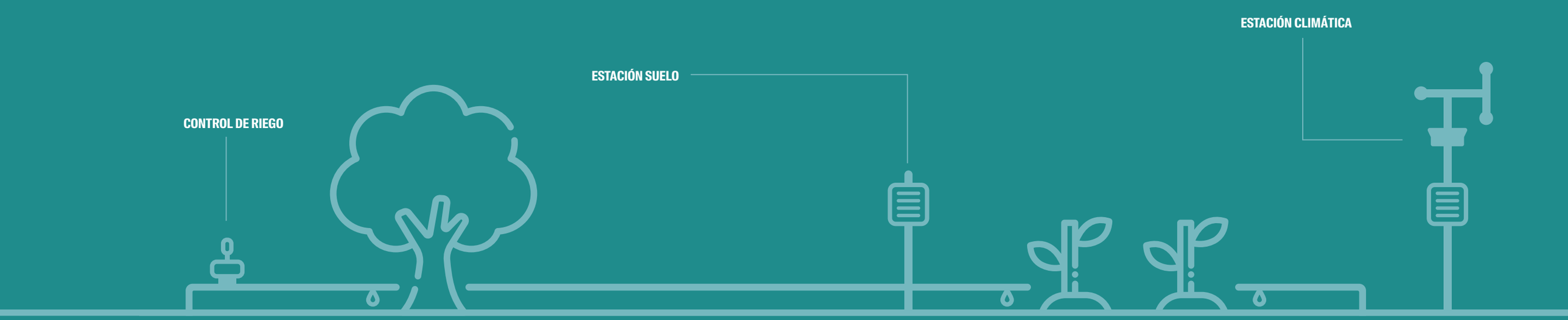
IMAGEN SATELITAL

FIGURA 1.

¿QUÉ ES LA AGRICULTURA DE PRECISIÓN? LA AGRICULTURA DE PRECISIÓN ENGLOBA Y CONECTA DIFERENTES TECNOLOGÍAS PARA MAXIMIZAR LA PRODUCTIVIDAD, EL APROVECHAMIENTO DE RECURSOS Y LA SOSTENIBILIDAD DE LOS CULTIVOS. ESTE GRÁFICO REPRESENTA ALGUNOS DE LOS SISTEMAS CONECTADOS QUE INTERVIENEN EN LA AGRICULTURA DE PRECISIÓN, COMO ESTACIONES DE MEDIDA, CONTROLES DE RIEGO Y SATÉLITES ARTIFICIALES.

Fuente: Qampo Blog[5] y Universidad de Lérida[6].





Los drones más modernos incorporan nuevos sistemas de detección, basados en sensores fotónicos multiespectrales que obtienen información de diferentes longitudes de onda, como los rayos infrarrojos, la luz visible y la radiación ultravioleta. Estos sensores pueden detectar la cantidad de clorofila de las hojas, un factor relacionado con la madurez del cultivo, la deficiencia de nutrientes y la presencia de plagas[7]. Más allá de las tareas de monitorización y control, los drones son herramientas muy útiles en tareas como la aplicación de productos fitosanitarios, abonos, agua, incluso pueden colaborar en procesos como la siembra y la recolección. En la mayoría de los casos, los drones son mucho más precisos que las alternativas tradicionales, como tractores y avionetas. También son capaces de operar de forma autónoma según las necesidades del cultivo; como los robot-aspiradora, los drones pueden programarse para llevar a cabo tareas rutinarias siguiendo rutas específicas desde un teléfono móvil. Algunos dispositivos pueden incluso reaccionar de forma automatizada cuando detectan alguna amenaza y aplicar soluciones de forma inmediata, directa y localizada para evitar la expansión del problema. Probablemente, el mayor reto sea diseñar drones capaces de transportar cargas pesadas y ayudar en las tareas de recolección[8]. Sin embargo, existen resultados preliminares muy prometedores en este sentido, como un dron diseñado por investigadores de la Universidad del Estado de Washington capaz de recolectar manzanas[9]. Otro robot, creado en la Universidad de Cambridge, no sólo recoge lechugas, sino que además utiliza la inteligencia artificial para seguir aprendiendo y mejorando tras cada cosecha[10].

Los satélites artificiales permiten escalar gran parte de estas operaciones a superficies mucho más grandes. Y es que, según el Doctor Javier Ventura-Traveset, experto de la Cátedra de Ciencia y Sociedad de la Fundación Rafael del Pino y director de la oficina científica del sistema de navegación Galileo de la Agencia Espacial Europea, la inversión en espacio es frecuentemente denominada como inversión perfecta. Aunque, a menudo, las cifras de inversiones en tecnologías espaciales sorprenden, lo cierto es que los beneficios que se obtienen superan ampliamente a los gastos en infraestructura, provocando

un enorme efecto tractor en muchos sectores de la economía. Como los drones, los satélites pueden darnos información sobre parámetros como la humedad, la madurez de los cultivos, incluso la aparición de plagas. Pero, además, los satélites nos permiten observar, medir y estudiar la atmósfera terrestre, y realizar observaciones directamente relacionadas con la crisis climática y eventos meteorológicos extremos como tornados, sequías e incluso incendios incipientes. Gracias a tecnologías desarrolladas por la Unión Europea, como los sistemas Galileo, Copernicus y EGNOS, los datos de estos satélites están disponibles en abierto y en tiempo real. Esto acelera la toma de decisiones y permite la detección temprana de problemas y contratiempos. Algunos satélites, por ejemplo, incorporan unos sistemas conocidos como reflectómetros, que están basados en tecnologías como el radar, gracias a los que es posible obtener información a partir de la emisión de señales y la detección de la radiación reflejada. Estos dispositivos pueden medir la humedad del suelo, la salinidad de las masas acuáticas y la cantidad de nutrientes del terreno, y permiten una gestión de recursos más eficaz. Los sistemas satelitales también proporcionan información muy valiosa para la elaboración de estadísticas y estudios climáticos a largo plazo. Así, por ejemplo, puede evaluarse la eficiencia de los cultivos, valorar su impacto medioambiental, e incluso identificar actividades que no se ajusten a los reglamentos y protocolos establecidos por las autoridades. Por último, los satélites posibilitan los sistemas de navegación modernos y el funcionamiento de vehículos inteligentes.

Los reflectómetros de los satélites permiten medir la humedad del suelo, la salinidad de las masas acuáticas y la cantidad de nutrientes del terreno.

Y es que, además de los drones, la agricultura de precisión también engloba el desarrollo de vehículos terrestres inteligentes, desde pequeños robots hasta tractores y otros tipos de maquinaria agrícola. Estos operan aprovechando la información detectada por los satélites, que utilizan para

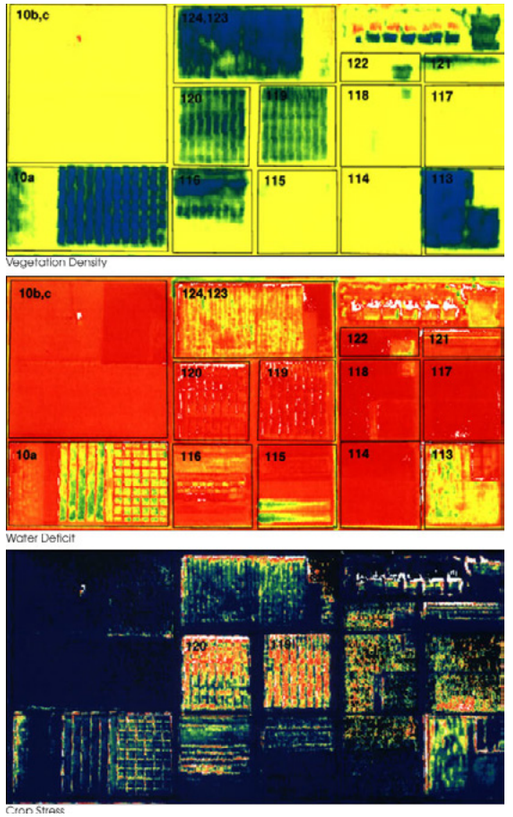
guiarse y posicionarse, así como para tomar decisiones sobre el tratamiento de los cultivos. A menudo estos aparatos también incorporan sensores y detectores propios, que utilizan tanto para contrastar la información recibida de otras fuentes como para recalibrar estas medidas y mejorar los modelos existentes[11].

Finalmente, la conectividad entre dispositivos y desarrollos informáticos como la inteligencia artificial también jugarán un papel clave en la implantación de la agricultura de precisión. Gracias a sistemas como los teléfonos inteligentes, las redes 5G y el internet de las cosas, la agricultura de precisión permite la creación de soluciones colaborativas que garantizan unas plantaciones sostenibles, respuestas rápidas en caso de emergencia y la optimización de recursos. Los diferentes dispositivos no sólo pueden conectarse entre ellos, sino también compartir información a través de sistemas informáticos centralizados y servicios en la nube, de modo que los datos sobre un tipo de cultivo recogidos por un agricultor en Europa pueden salvar la plantación de otro en Sudamérica. El análisis de los datos generados gracias a los supercomputadores y los algoritmos de aprendizaje automático permitirá adaptar la agricultura a unas condiciones cada vez más complejas y extremas, marcadas por la erosión del suelo, la escasez de nutrientes, la creciente contaminación de los acuíferos y la incontenible urbanización, que obligará a replantear los modelos de distribución y logística. Se estima que, en 2050, necesitaremos producir entre un 60 y un 70% más de alimentos. Sin embargo, la superficie disponible para el cultivo será prácticamente la misma (es insostenible seguir deforestando el planeta) y tendrá que ser más eficiente y respetuosa con el medio ambiente. La implantación de la agricultura de precisión no solo es una oportunidad, sino una para cumplir los objetivos de desarrollo sostenible[12].

Fuente: Dominio público / NASA / SRUK Blog.

FIGURA 2.

SATÉLITES Y AGRICULTURA DE PRECISIÓN. LAS SIGUIENTES IMÁGENES MUESTRAN TRES TIPOS DIFERENTES DE INFORMACIÓN QUE PODEMOS OBTENER MEDIANTE EL USO DE DRONES O, A ESCALA GLOBAL, SATÉLITES ARTIFICIALES. LA PRIMERA SECCIÓN MUESTRA LAS ZONAS CON MAYOR ÍNDICE DE VEGETACIÓN, LA SEGUNDA LAS ÁREAS CON DÉFICIT DE AGUA Y LA TERCERA SEÑALA LAS PLANTAS QUE CRECEN ESTRESADAS, LO QUE PUEDE DEBERSE A LA FALTA DE NUTRIENTES O A LA PRESENCIA DE PLAGAS Y ENFERMEDADES.





Oportunidades

Satélites conectados y datos en abierto para un liderazgo europeo

La transición hacia la agricultura de precisión va a suponer una gran oportunidad. Primero, porque junto con las energías renovables y el hidrógeno, es una de las tecnologías más atractivas para hacer frente a la crisis climática. Y, además, porque los nuevos sistemas conectados de agricultura inteligente van a definir la geopolítica del siglo XXI. En este sentido, Europa ha decidido apostar por la ingeniería espacial civil (responsable del desarrollo de los sistemas satelitales Galileo o Copernicus) y el acceso abierto a los datos. Así, el crecimiento económico estará basado en los servicios generados y las empresas de tratamiento de información, y se garantiza una independencia absoluta frente a sistemas comerciales y militares como el GPS estadounidense. Para Javier Ventura-Traveset, experto de la Cátedra de Ciencia y Sociedad de la Fundación Rafael del Pino, la decisión de la Unión Europea de implementar los sistemas Galileo y Copernicus y la política operacional asociada, ofreciendo un servicio de navegación de alta precisión, global y gratuito, y de permitir el acceso en abierto de los datos obtenidos con los satélites Sentinel, son decisiones muy acertadas, con un impacto económico y estratégico para Europa muy positivo. Se calcula que Europa ha gastado del orden de 5.300 millones de euros en desplegar esta constelación de 30 satélites artificiales, de los que 26 están ya en órbita, tras el último lanzamiento de cuatro satélites Galileo con un cohete Ariane 5, desde la Guayana francesa en 2018. Hoy, apenas tres años después, ya hay más de 2.000 millones de teléfonos inteligentes que utilizan este sistema de navegación, lo que demuestra que las compañías tecnológicas están interesadas en las ventajas que ofrece Galileo frente a sus competidores[13].

Entre otras ventajas, y gracias a su mayor precisión orbital y una estabilidad superior de sus relojes a bordo, según el Dr. Ventura-Traveset, Galileo es actualmente ya el sistema de localización por satélite que ofrece las mejores prestaciones del mundo. Actualmente, estos satélites ya permiten obtener precisiones del orden de 1 a 2 metros, superiores a las que ofrece hoy el sistema GPS; además, está previsto que, en breve, Galileo ofrezca también un servicio en abierto de alta resolución, con precisiones del orden de tan solo 20 cm, lo que sin duda permitirá una plétora de nuevas posibles aplicaciones. Las prestaciones actuales ya son

muy atractivas desde el punto de vista de la agricultura de precisión, pero la actualización será todavía más interesante: 20 centímetros significan que un satélite artificial Galileo podrá distinguir entre dos plantas adyacentes sin dificultad. Además, mejorarán los servicios de localización (enlazados, por ejemplo, a los vehículos autónomos) y los relojes, que se sincronizan a través de las constelaciones de satélites Galileo y GPS[14].

A los esfuerzos de Galileo se suma la red de satélites del programa Copernicus, que observa y mide diferentes parámetros relacionados con el medio ambiente para vigilar el progreso de la crisis climática, la contaminación de los mares y océanos, la calidad del suelo y la contaminación atmosférica, entre otras cosas. La red de Copernicus cuenta con varios satélites propios, los sentinels, así como con un gran número de misiones colaboradoras tanto públicas como privadas. Juntos, todos estos dispositivos permiten obtener, tratar y analizar multitud de datos, y utilizarlos para la elaboración de mapas, modelos, predicciones y para ofrecer diferentes servicios a los ciudadanos[15].

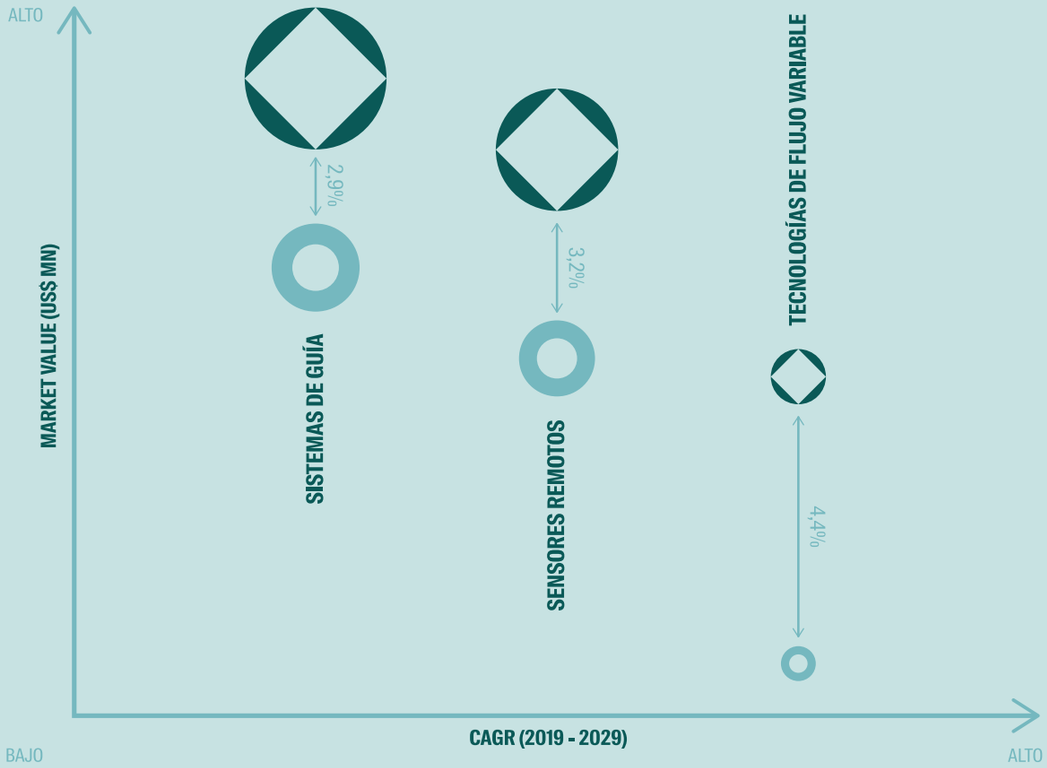


Fuente: McKinsey y Fact. MR.

FIGURA 3.

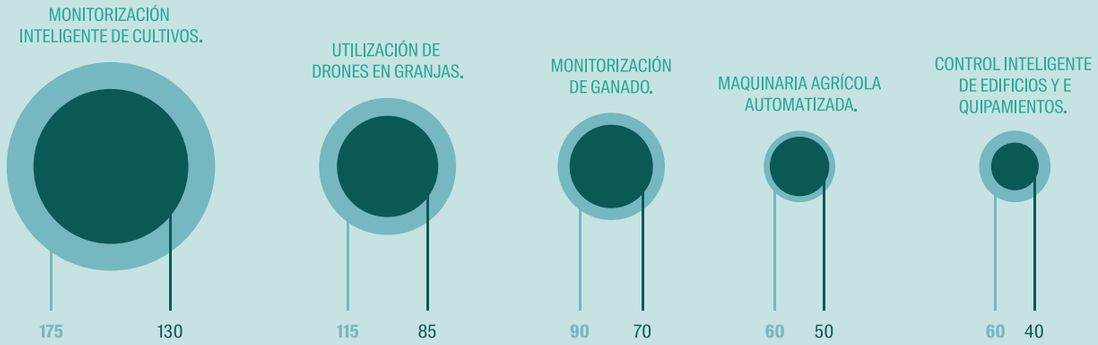
EL POTENCIAL DE CRECIMIENTO DE LA AGRICULTURA DE PRECISIÓN. LA AGRICULTURA DE PRECISIÓN PODRÍA SUPONER UNA INVERSIÓN DE 500.000 MILLONES DE DÓLARES EN 2030, SEGÚN LOS ANÁLISIS DE MCKINSEY. ENTRE OTRAS ÁREAS, DESTACA EL POTENCIAL DE LAS TECNOLOGÍAS INTELIGENTES PARA LA MONITORIZACIÓN DE CULTIVOS, INCLUIDOS LOS VEHÍCULOS NO TRIPULADOS COMO LOS DRONES.

MERCADO GLOBAL DE AGRICULTURA DE PRECISIÓN
EVALUACIÓN DE LAS OPORTUNIDADES POR TECNOLOGÍA

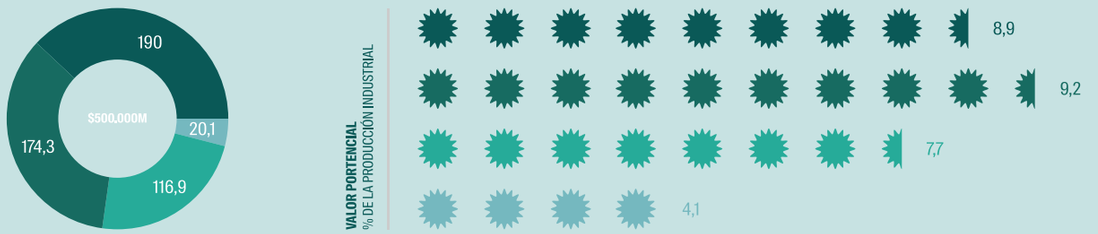


X DEFINE EL CRECIMIENTO EN OPORTUNIDADES INCREMENTALES
EL TAMAÑO DE LA BURBUJA REPRESENTA EL TAMAÑO RELATIVO DE MERCADO

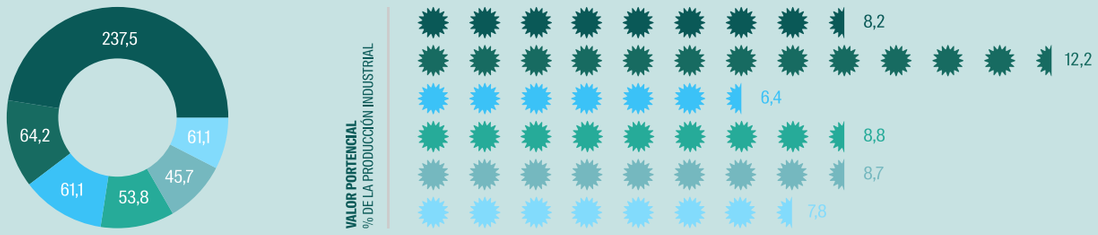
RANGO DE POTENCIAL ESTIMADO EN PIB GLOBAL.
EN MILES DE MILLONES DE DÓLARES



DISTRIBUCIÓN DEL VALOR POTENCIAL DE LA AGRICULTURA DE PRECISIÓN EN 2030, POR SUB-INDUSTRIA
EN MILES DE MILLONES DE DÓLARES.



DISTRIBUCIÓN DEL VALOR POTENCIAL DE LA AGRICULTURA DE PRECISIÓN EN 2030, POR REGIÓN
EN MILES DE MILLONES DE DÓLARES.



Retos

Invertir en tecnologías y conectividad para renovar la agricultura.

Uno de los problemas de los agricultores es la gran dependencia en fertilizantes a base de nitrógeno que se administran utilizando tractores y otras herramientas automatizadas básicas, lo que despoja al suelo de nutrientes y reduce la productividad. Como consecuencia de ello, la agricultura es responsable de un 58% del óxido nitroso global, un gas que calienta la atmósfera 280 veces más que el dióxido de carbono. Los fertilizantes que llegan a los ecosistemas costeros han producido más de 400 'zonas muertas' oceánicas, que ocupan más de 245.000 km2, un área combinada mayor que la del Reino Unido. La degradación de la tierra ha reducido la productividad del 23% de la superficie mundial, lo que dificultará el abastecimiento de la población global en 2050. El futuro de la sostenibilidad de la agricultura apunta, por ello, a las herramientas de la revolución digital. La agricultura de precisión tiene como uno de sus objetivos reducir los insumos químicos usándolos precisamente en áreas específicas dónde y cuándo se necesitan[16].

Se prevé que la explotación agraria promedio generará 4,1 millones de puntos de datos para 2050. El uso de los datos recopilados para mejorar directamente las prácticas de producción podría permitir un aumento del 20% en los ingresos y reducir el consumo de herbicidas y combustible en un 10-20%. En consecuencia, si la conectividad se implementa con éxito en la agricultura, la industria podría agregar 500.000 millones de dólares en valor adicional al producto interior bruto global para 2030. Esto equivaldría a una mejora del 7% al 9% del total previsto para el sector y aliviaría gran parte de la presión actual sobre los agricultores. Por ámbitos de aplicación, para 2030, el uso de conexiones más fluidas podría generar un valor de 130-175.000 millones de dólares; un mejor seguimiento de la salud animal y las condiciones de crecimiento, 70-90.000 millones de dólares; y un aumento de la autonomía de la maquinaria a través de una mejor conectividad, 50-60.000 millones de dólares. El desafío consiste en dotar a los pequeños agricultores de las herramientas para hacer el mejor uso de los datos[17].

Por otra parte, un tercio de los alimentos producidos en el mundo cada año (aproximadamente 1.300 millones de toneladas) se pierde o desperdicia, y son culpables de alrededor del 8% de las emisiones de gases de efecto invernadero globales. Además, el 70% de la población mundial experimenta escasez de agua durante al menos un mes al año y se prevé que empeore durante la próxima década. La agricultura es el mayor usuario de agua dulce: consume casi el 70% de este recurso. De ahí que, junto a la introducción de más soluciones TIC, se promuevan también sistemas de economía circular. Podrían reducir el uso de fertilizantes, pesticidas y agua entre un 45% y un 50% en 2050 y, al mismo tiempo, mejorar el uso de la tierra, las emisiones de gases de efecto invernadero, el combustible y la electricidad entre un 10% y un 20%[18].

Europa es el único gran bloque que tiene la capacidad, los recursos y la credibilidad suficientes para liderar la gran transformación del sector agroalimentario que se necesita para lograr el desarrollo sostenible. De ahí que la Comisión Europea que preside Ursula Von der Leyen, que ha vinculado esa transformación a su gran Pacto Verde Europeo, firmara en abril de 2019 una declaración conjunta con 25 estados miembros para la digitalización de la agricultura y las zonas rurales europeas. En realidad, el desafío llega más allá de la mejora de la rentabilidad de las explotaciones y a la sostenibilidad medioambiental, y alcanza también a la eficiencia de la propia Política Agraria Común (PAC), de la que se benefician siete millones de recepto-

res, pero cuyos pagos se han venido realizando sobre la base de los datos comunicados por los agricultores, mediante un proceso generalmente engorroso y manual. Las normas adoptadas por la Comisión Europea, que entraron en vigor el 22 de mayo de 2018, contemplan que los datos de los satélites Copernicus se utilicen como prueba primaria al comprobar el cumplimiento de los requisitos de la PAC por parte de los agricultores[19].

Se ha detectado que las imágenes de Copernicus cumplen en muchos casos los requisitos para realizar las comprobaciones con la precisión requerida, pero en determinados territorios europeos el tamaño de las parcelas a monitorizar es bastante reducido. Esta situación mejorará con los sistemas Galileo de alta resolución y la nueva generación de satélites Copernicus. Además, según un estudio de la Comisión Europea sobre la cobertura de banda ancha en Europa, aunque el 92,4% de los hogares rurales de la UE tenían acceso a al menos una tecnología de banda ancha fija a mediados de 2017, menos del 50% (46,9%) tenía conectividad de alta velocidad. Por eso, se ensayan soluciones complementarias. En España, la Xunta de Galicia fomenta el uso de vehículos aéreos no tripulados, como drones, y tecnologías digitales como la teledetección, el análisis de imágenes y el *big data* para automatizar los controles agrícolas y explotar los datos recopilados de forma casi continua[20].

Los avances en inteligencia artificial y *machine learning*, especialmente, con el uso generalizado del *deep learning*, permiten la segmentación automática de fincas, la clasificación del tipo de cultivos e incluso la detección de objetos y estructuras a partir de imágenes aéreas, todo lo cual aporta datos, cuya disponibilidad, en el caso de la PAC, abre la puerta a la prestación de nuevos servicios personalizados de interés tanto para los agricultores como para la administración pública. Se espera que el valor de los datos no personales generados por máquinas agrícolas en la UE para 2027 (dada la penetración prevista del internet de las cosas) alcance los 50.000 millones de euros[21].

En paralelo, y con objeto de conciliar el desarrollo de la agricultura con la lucha contra el cambio climático, el Global Agriculture Project de Copernicus utiliza series de datos climáticos, pasados y futuros, para respaldar decisiones de transformación, como la introducción de nuevas variedades de cultivos, las inversiones en riego o la reubicación de áreas de producción[22]. Para ello se apoya en el proyecto Sistema Mundial de Información Sectorial Agrícola. Cada vez son más las plataformas de suministro de datos en abierto, como el Global Open Data for Agriculture and Nutrition (GODAN), que cuenta con el apoyo de varios gobiernos y de la Organización de las Naciones Unidas para la Alimentación y la Agricultura (FAO), con el objetivo de apoyar el intercambio de datos sobre agricultura y nutrición con el objetivo de garantizar la seguridad alimentaria mundial[23].

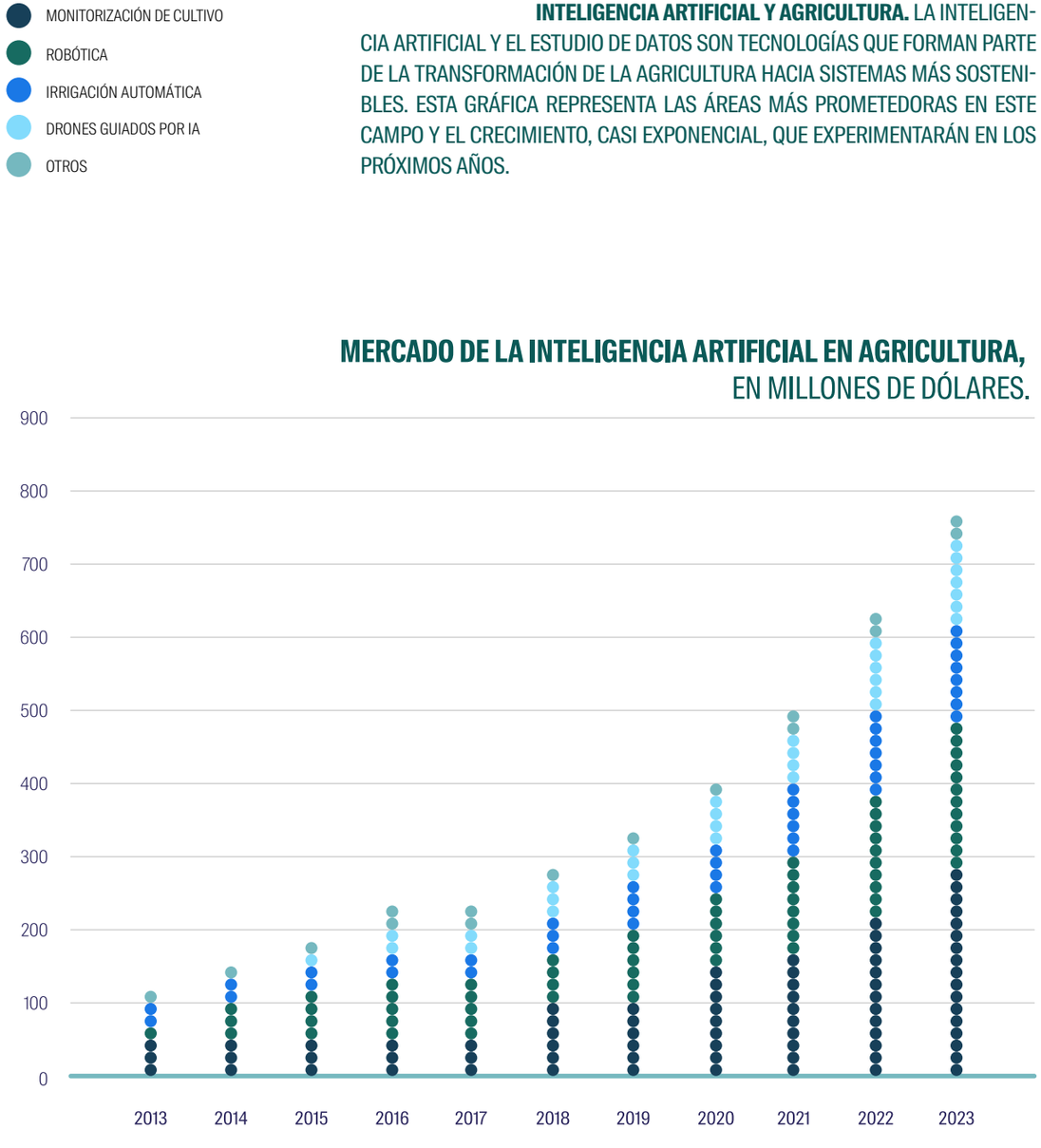
Se espera que el valor de los datos no personales generados por máquinas agrícolas en la UE alcance los 50.000 millones de euros en 2027.

Son tantas las razones que justifican la importancia de una agricultura de precisión que no resulta sorprendente la creciente apuesta de los grandes bloques internacionales por proporcionar la cobertura satelital que necesita el sistema. Con la reciente finalización de la constelación BeiDou, de China, y los últimos lanzamientos de satélites Galileo, que ha alcanzado prácticamente su plena capacidad operativa, los sistemas operativos globales han aumentado hasta cuatro. Los otros dos sistemas de localización históricos (GPS, gestionado por la Fuerza Espacial de Estados Unidos, y GLONASS, de Rusia) prosiguen su modernización, mientras que los tres sistemas regionales de navegación por satélite (NavIC, el componente regional de BeiDou y QZSS) continúan su desarrollo incorporando nuevos satélites de navegación en sus respectivas áreas de cobertura[24].

Fuente: Banco Mundial.

FIGURA 4.

INTELIGENCIA ARTIFICIAL Y AGRICULTURA. LA INTELIGENCIA ARTIFICIAL Y EL ESTUDIO DE DATOS SON TECNOLOGÍAS QUE FORMAN PARTE DE LA TRANSFORMACIÓN DE LA AGRICULTURA HACIA SISTEMAS MÁS SOSTENIBLES. ESTA GRÁFICA REPRESENTA LAS ÁREAS MÁS PROMETEDORAS EN ESTE CAMPO Y EL CRECIMIENTO, CASI EXPONENCIAL, QUE EXPERIMENTARÁN EN LOS PRÓXIMOS AÑOS.



El potencial de España

Una agenda digital para modernizar el sector agrario

En cuanto a España, el sector agroalimentario está compuesto por unas 900.000 explotaciones agrarias y más de 31.000 empresas, de las que más del 95% son pymes. El medio rural español ocupa el 84% del territorio, pero sólo contiene al 16% de la población. La Estrategia de Digitalización del Sector Agroalimentario y Forestal y del Medio Rural publicada por el Ministerio de Agricultura en 2019 establece como grandes líneas de trabajo reducir la brecha digital, fomentar el uso de datos e impulsar los nuevos modelos de negocio[25]. Para ello, entre otras medidas, se apoya en el Programa de Extensión de Banda Ancha de nueva generación, la Agenda Digital para España y la Estrategia Industria Conectada 4.0.

En materia de innovación, España es un referente internacional. Hay reconocidos 24 centros de innovación digital vinculados a los sectores agroalimentario, forestal y el medio rural, y muchos están interconectados a través de proyectos europeos como SmartAgriHubs. La Junta de Andalucía lidera el Regional Cluster Iberia en la que participan 20 centros de innovación digital de España y Portugal, y coordina también el desarrollo de un observatorio europeo, con más de 400 ecosistemas de innovación digital. Precisamente de su seno surgió Graniot, la empresa ganadora del premio Farming by Satellite 2020, que promueve el uso de Galileo, sistema global de navegación por satélite europeo, de EGNOS, Sistema regional de navegación europeo, y de Copernicus. Graniot ha diseñado una aplicación web que utiliza tecnologías satelitales europeas

para ayudar a los agrónomos y agricultores a monitorear sus olivares con el objetivo de reducir el desperdicio de agua y las malas prácticas de fertilización[26]. La transferencia tecnológica al mercado se ha producido en diversos ámbitos, con hitos como la captación de 75,9 millones de euros en 2019 por parte de la spin-off de la Universidad Politécnica de Madrid PlantResponse, que opera bajo la marca Delta PRB, y está especializada en la inmunidad innata de las plantas, tolerancia a la sequía y al estrés y la eficiencia en el uso de nutrientes[27]. Ese año, España fue el noveno país en número de operaciones de inversión, que llegaron a los 81,8 millones de dólares.

Más vinculado a la gestión de datos en el campo, el software Visual 4.0 de VisualNacert permite seguir cultivos a través de imágenes satélite y conocer la trazabilidad de los agricultores proveedores de materia prima utilizando la georreferenciación mundial de cultivos. Está presente, además de en España, en países como Francia, Portugal, Marruecos, Australia, Paraguay, Colombia, Ecuador, Argentina, República Dominicana, Perú y Chile. Asimismo, ganaderos de cuatro continentes monitorizan sus animales gracias a los collares inteligentes de la española Digitanimal para evitar su extravío y determinar también su estado de salud y bienestar. Y la española Ibisa aúna blockchain y la información de los satélites para cubrir a pequeños agricultores en zonas remotas de África, Asia o Latinoamérica que las aseguradoras no cubren por falta de rentabilidad.

A finales de 2020, la ESA anunció la primera misión satelital de Copernicus que liderará una empresa española: la misión de Monitoreo de la Temperatura de la Superficie Terrestre (LSTM, en sus siglas en inglés). Airbus España liderará la construcción de este nuevo satélite, un proyecto de 380 millones que formará parte de una familia de seis satélites Copernicus de nueva generación y servirá para cartografiar la temperatura de la superficie terrestre. Además de las aplicaciones relacionadas con el control de la crisis climática, LSTM tendrá varias aplicaciones en sistemas de agricultura de precisión, gracias a la detección de parámetros como la humedad, la composición del suelo y la detección anticipada de peligros

naturales como incendios, sequías y actividad volcánica. Según los expertos de Airbus, el satélite LSTM contribuirá a crear sistemas de agricultura más eficientes que beneficiarán a toda la sociedad[28]. Otros ejemplos incluyen el satélite SMOS, lanzado en 2009, que cuenta con un dispositivo diseñado por un consorcio español que utiliza radiación de microondas para detectar la salinidad del agua y medir la humedad del terreno con gran precisión; y el satélite HydroGNSS, que se lanzará en los próximos tres años y cuenta con tecnología desarrollada por el Instituto de Ciencias Espaciales del CSIC, para medir parámetros como el estado del permafrost.

Fuente: AgFunder

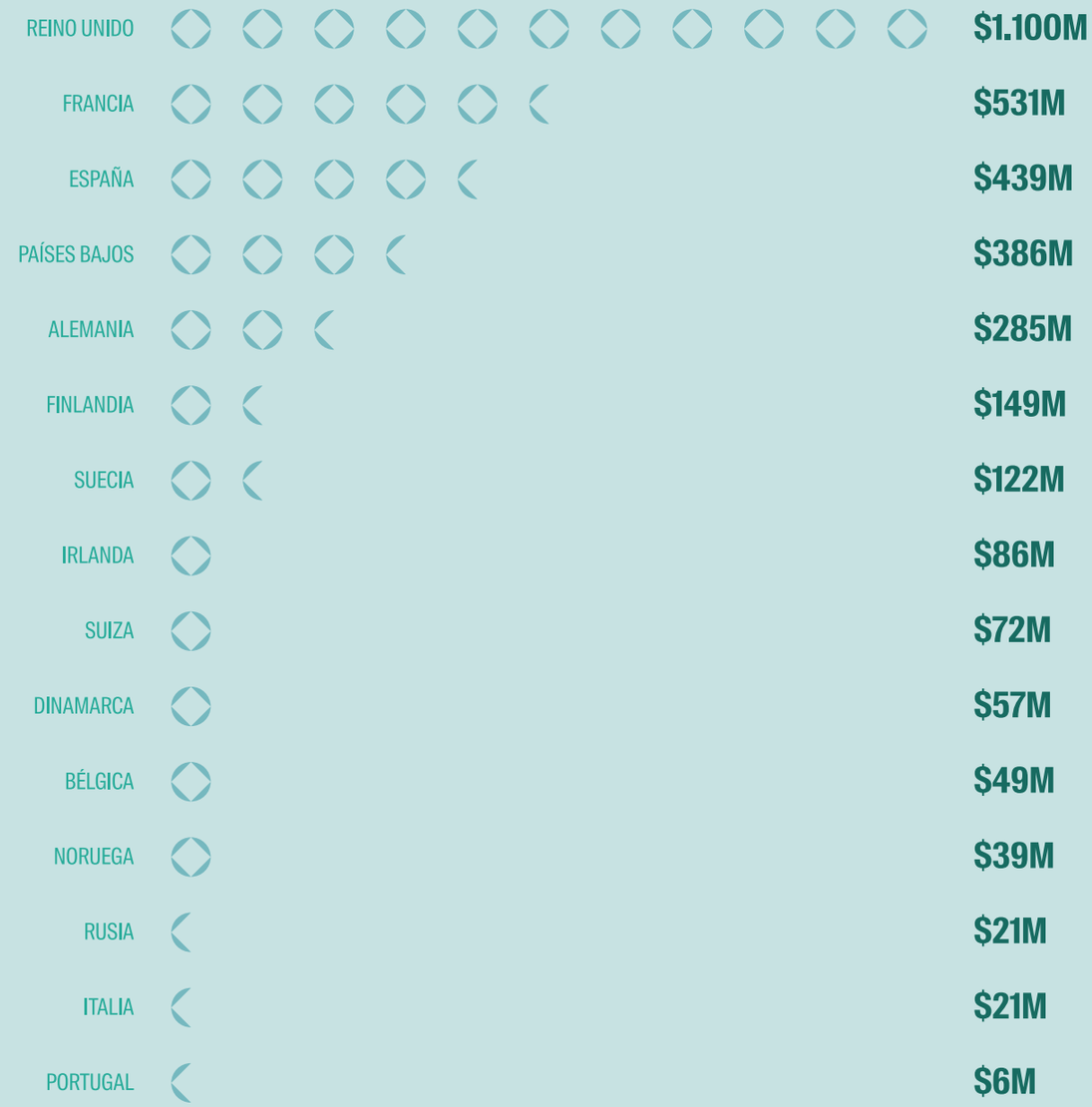
FIGURA 5.

EL LIDERAZGO ESPAÑOL EN EL SECTOR. A PESAR DE QUE EL REINO UNIDO, DE MOMENTO, DOMINA EL SECTOR DE LA AGRICULTURA DE PRECISIÓN, ESPAÑA SE MANTIENE EN EL TERCER PUESTO DE EUROPA EN CUANTO A INVERSIONES. EN EL PRIMER GRÁFICO SE REPRESENTAN LOS MOVIMIENTOS DE CAPITAL MÁS REPRESENTATIVOS EN NUESTRO PAÍS QUE, A PESAR DE ESTAR LIDERADOS POR UNA APLICACIÓN DE ENVÍOS A MINORISTAS, MUESTRAN EMPRESAS MUY PROMETEDORAS COMO CUBIQ FOODS Y BIOTECH GOODS, QUE TRABAJAN EN EL DESARROLLO DE CARNE DE LABORATORIO, Y VENVIROTECH, QUE INVESTIGA CÓMO TRANSFORMAR LOS DESECHOS ORGÁNICOS EN BIOPLÁSTICOS.

PRINCIPALES REPARTIDORES ESPAÑOLES



INVERSIÓN EN AGRICULTURA DE PRECISIÓN POR PAÍS



Conclusiones

Renovar las tecnologías que usamos en el campo puede transformar la agricultura y adaptarla a las necesidades del futuro. Gracias a los satélites, los drones, la maquinaria autónoma y la inteligencia artificial, la agricultura de precisión podrá reducir las emisiones de gases de efecto invernadero, maximizar el aprovechamiento de recursos y la sostenibilidad de los cultivos. Todos estos aspectos son fundamentales para que seamos capaces de alimentar a una población mundial en constante crecimiento. En este sentido, la posición de España y Europa es fuerte, gracias a la apuesta por la tecnología espacial de vanguardia, los datos en abierto y el diseño de una agricultura sostenible y eficaz. Juntos, debemos prepararnos para afrontar los efectos de la crisis climática y la contaminación, y diseñar una agricultura capaz de aprovechar los recursos, cada vez más limitados, al máximo.



1. EPA (2021). **“Sources of Greenhouse Gas Emissions.”** Consultado el 22 de abril de 2021.

2. Llop, E. **“Agricultura de precisión, tecnologías clave para conseguir una agricultura más sostenible.”** AINIA, junio de 2020. Consultado el 22 de abril de 2021.

3. Laurentin, H.E. **“La tercera revolución agrícola: la revolución agromática.”** SofOS, 13 de enero de 2020. Consultado el 22 de abril de 2021.

4. EOS (2020). **“Agricultura De Precisión: De Los Libros A La Realidad.”** Consultado el 22 de abril de 2021.

5. Qampo (2019). **“Todo el mundo habla de agricultura de precisión, pero poca gente la practica.”** Consultado el 7 de mayo de 2021.

6. Universitat de Lleida (2020). **“Agricultura de Precisión.”** Consultado el 7 de mayo de 2021.

7. Wageningen University (2017). **“Drone reveals hidden plant-soil history effects on crops.”** Consultado el 22 de abril de 2021.

8. Calvo, A. **“Agricultura de precisión: drones, ¿Una herramienta para tu explotación?”** Agroptima Blog, 16 de enero de 2020. Consultado el 22 de abril de 2021.

9. Silwal, A. et al. **“Design, integration, and field evaluation of a robotic apple harvester.”** Journal of Field Robotics, 28 de abril de 2017. Consultado el 22 de abril de 2021.

10. Universidad de Cambridge (2019). **“Robot uses machine learning to harvest lettuce.”** Consultado el 22 de abril de 2021.

11. Bechar, A. y Vigneault, C. **“Agricultural robots for field operations. Part 2: Operations and systems.”** Biosystems Engineering, 1 de diciembre de 2016. Consultado el 22 de abril de 2021.

12. Muñoz-Azcárate, O. **“Agricultura 4.0: la revolución tecnológica llega a nuestra mesa.”** SRUK Blog, 14 de mayo de 2020. Consultado el 22 de abril de 2021.

13. GSA (2021). **“Smartphone users put their trust in Galileo with 2 billion Galileo-enabled devices sold.”** Consultado el 22 de abril de 2021.

14. Septentrio (n.d.). **“How GPS brings time to the world.”** Consultado el 22 de abril de 2021.

15. Copernicus (n.d.). **“Copernicus en pocas palabras.”** Consultado el 22 de abril de 2021.

16. CEPS / Barilla (2019). **“Digitising agrifood, pathways and challenges.”** Consultado el 24 de abril de 2021.

17. McKinsey (2020). **“Agriculture’s connected future: How Technology can yield new growth.”** Consultado el 24 de abril de 2021.

18. KPMG (2019). **“Accelerating Agri-Food Opportunities from the Global Agrarian Revolution.”** Consultado el 21 de abril de 2021.

19. Comisión Europea (2019). **“EU Member States join forces on digitalisation for European agriculture and rural areas.”** Consultado el 21 de abril de 2021.

20. AIOTI (2019). **“IoT and digital technologies for monitoring of the new CAP.”** Consultado el 21 de abril de 2021.

21. Deloitte/Vodafone (2018). **“Realising the economic potential of machine-generated, non personal data in the EU.”** Consultado el 21 de abril de 2021.

22. Copernicus (n.d.). **“Global Agriculture project.”** Consultado el 21 de abril de 2021.

23. GODAN (n.d.). **“Harnessing Open Data to Achieve Global Food Security.”** Consultado el 24 de abril de 2021.

24. GSA (2020). **“GNSS User Technology Report.”** Consultado el 21 de abril de 2021.

25. Ministerio de Agricultura (2019). **“Estrategia de Digitalización del Sector Agroalimentario y Forestal y del Medio Rural.”** Consultado el 21 de abril de 2021.

26. Copernicus (2020). **“Spanish team wins the Farming by Satellite Prize 2020.”** Consultado el 23 de abril de 2021.

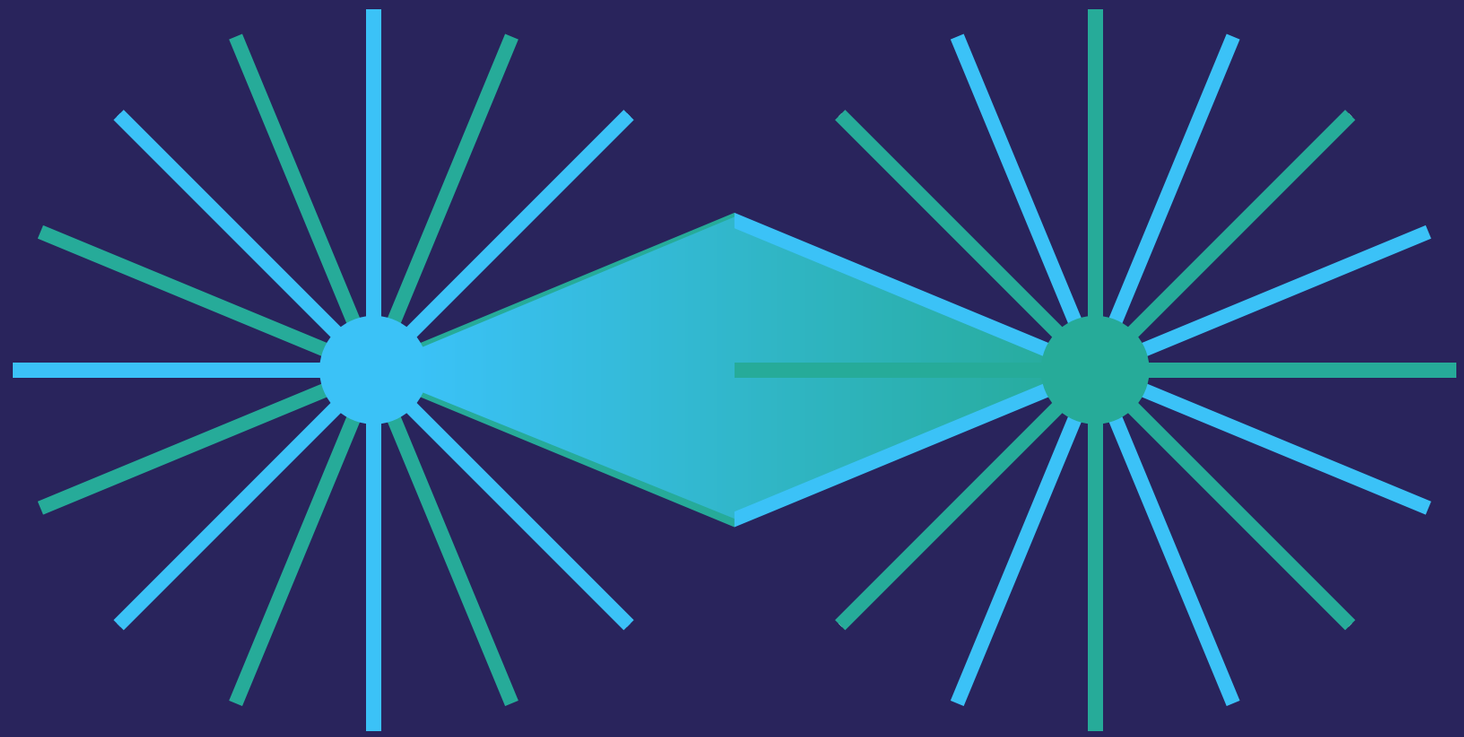
27. AgFunder (2020). **“2020 European Agri-FoodTech Investment Report.”** Consultado el 23 de abril de 2021.

28. AIRBUS (2020). “Airbus wins ESA’s LSTM temperature-check mission for Copernicus next generation.” Consultado el 22 de abril de 2021.

10. Nanomedicina

Más allá de la liberación controlada de fármacos

/ Revolución sanitaria
/ Prevención pandemias



/ Reducción costes sanitarios
/ Revolución en oncología
/ Implantes

En clave

Las vacunas de ARN contra la COVID-19 son nuestra mejor arma para acabar con la pandemia. Su éxito radica, en parte, en el uso de la nanotecnología para llevar mensajes de ARN directamente hasta las células. Pero las aplicaciones del mundo “nano” en medicina van mucho más allá, podrían transformar los diagnósticos, reducir los efectos secundarios de la quimioterapia e incluso ayudarnos a luchar contra la resistencia a antibióticos. La nanomedicina será parte de los tratamientos médicos del futuro.

La tecnología

Aplicar los avances de la nanotecnología en salud.

La nanomedicina es la aplicación de la nanotecnología a la salud. Esta ciencia estudia las propiedades de los materiales “nano”, unas cien mil veces más finos que un cabello humano. En esta escala se observan algunas propiedades radicalmente distintas a las que nos encontramos en los objetos macroscópicos del día a día, unas propiedades que podemos utilizar y aprovechar para mejorar tanto el diagnóstico como el tratamiento de las enfermedades[1]. Quizás la aplicación más reciente de la nanotecnología sean las vacunas de ARN para prevenir la COVID-19, en las que las hebras de material genético están envueltas en unas nano-cápsulas lipídicas[2]. Estas minúsculas gotas de grasa protegen al ARN en su camino hasta nuestras células, donde se encargará de producir copias ‘señuelo’ de la proteína espícula del coronavirus para entrenar a nuestro sistema inmunitario. Pero las aplicaciones de la nanomedicina van mucho más allá; podrían dar lugar a tratamientos más eficaces, a medicamentos con menos efectos secundarios y, además, a métodos de diagnóstico mejores y más rápidos, que aumentarán nuestra calidad de vida.

Dentro de las aplicaciones terapéuticas de la nanomedicina destacan varias áreas prometedoras. Primero, la nanotecnología facilita soluciones al problema de la liberación controlada de fármacos. Actualmente dependemos de medicamentos que tenemos que tomar en dosis mayores de las clínicamente necesarias, varias veces al día. Esto se debe a los principios de la farmacocinética, la ciencia que estudia el paso de los medicamentos por nuestro organismo, desde que se libera el

principio activo hasta que se excretan los residuos y metabolitos generados. Del mismo modo que las cápsulas protegen algunos medicamentos durante su viaje por nuestro sistema digestivo, las nano-cápsulas (como las utilizadas para encerrar el ARN en las vacunas contra la COVID-19) protegen a los medicamentos hasta que llegan a su diana. Estas nanoestructuras mejoran la biodisponibilidad del fármaco y, además, pueden atravesar las diferentes barreras biológicas de forma eficiente. Asimismo, la mayoría de las nanoestructuras pueden modificarse químicamente para que se dirijan de manera específica a diferentes zonas del cuerpo. Esto minimiza sus efectos secundarios y problemas en otros órganos. Algunos tipos de nanoestructuras de fármacos son capaces, incluso, de dirigirse a dianas concretas dentro de una célula, como el núcleo, las mitocondrias o los lisosomas[3]. Estas terapias de alta precisión permitirán desarrollar medicamentos contra el cáncer mucho más eficaces, pero menos peligrosos y dañinos para el paciente.

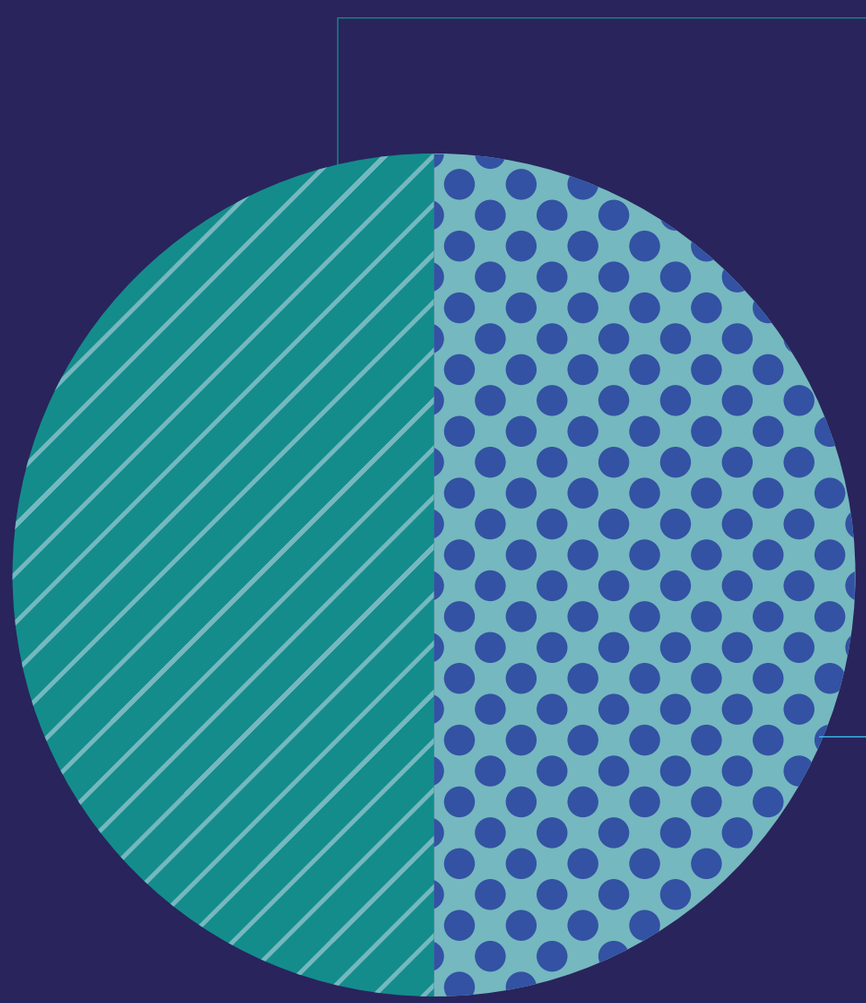
Además de la liberación localizada de fármacos, la nanomedicina facilita la liberación controlada de medicamentos. Por ejemplo, se pueden diseñar materiales poliméricos que liberen pequeñas cantidades de principio activo mientras se degradan de forma paulatina. También se pueden crear nanopartículas y nano-cápsulas que solo liberen su contenido en respuesta a ciertos estímulos del exterior, como cambios en la temperatura o en respuesta a un campo electromagnético[4].

Las propias nanopartículas pueden utilizarse como agentes terapéuticos. En 2010, la Agencia Europea del Medicamento aprobó el uso de NanoTherm, una terapia desarrollada por la empresa alemana Magforce Nanomedicine. Esta solución consiste en inyectar dosis de nanopartículas magnéticas directamente en el tejido tumoral y, posteriormente, calentarlas utilizando un campo magnético externo. En la mayoría de los casos, el calor generado es suficiente para destruir las células tumorales; aunque a veces simplemente las debilita, algo que puede aprovecharse para maximizar la eficacia de tratamientos convencionales como la quimioterapia o la radioterapia[5]. Otras nanopartículas, en lugar de ser sensibles a campos magnéticos,

Fuente: Educación Química 2016, *27*, 286-291.

FIGURA 1.

LAS NANOPARTÍCULAS PUEDEN UTILIZARSE PARA LA LIBERACIÓN CONTROLADA Y DIRIGIDA DE FÁRMACOS. PUEDEN ESTAR HECHAS DE DIFERENTES MATERIALES Y, ADEMÁS, CONTAR CON DIFERENTES 'ACCESORIOS' QUE NOS PERMITEN LOCALIZARLAS, CONTROLARLAS O DIRIGIRLAS DE FORMA SELECTIVA A CIERTAS PARTES DEL CUERPO.



responden a la irradiación con luz infrarroja, la misma luz que utilizan los mandos a distancia y las cámaras de visión nocturna. Funcionan de forma muy similar y, además de poder utilizarse como tratamiento, pueden usarse como agentes de diagnóstico[6]. La combinación de estas dos propiedades (diagnóstico y tratamiento), muy común en el campo de la nanomedicina, se conoce como teragnosis[7]. Varios grupos de investigación en España desarrollan aplicaciones de la nanotecnología en este campo, que permite, entre otras cosas, llevar a cabo biopsias virtuales; es decir, analizar la composición y la peligrosidad de un tumor sin necesidad de cirugía ni procedimientos invasivos[8].

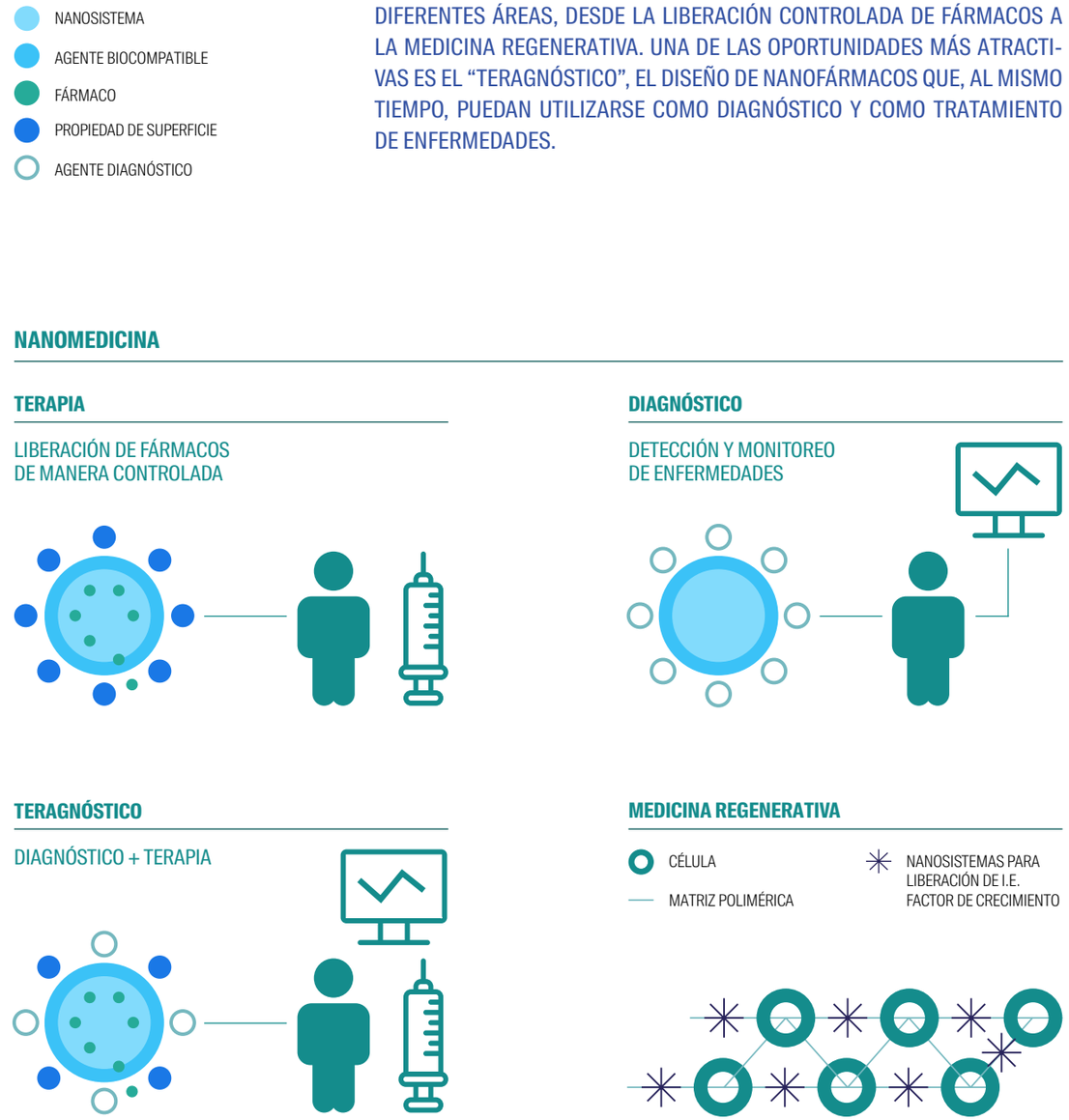
Y es que la nanomedicina también tiene un tremendo potencial para mejorar nuestras herramientas de diagnóstico. Todas las ventajas descritas anteriormente pueden emplearse para diseñar métodos de diagnóstico *in vivo,* como la utilización de contrastes para técnicas de imagen, basados en puntos cuánticos, nanopartículas magnéticas y nanopartículas cargadas de marcadores fluorescentes y radiactivos. Estas soluciones sirven para mejorar la precisión y la resolución de técnicas como la resonancia magnética de imagen o la tomografía por emisión de positrones. Además, podemos aprovechar las ventajas de la nanotecnología en el laboratorio, durante los estudios y los análisis *in vitro.* Dentro de esta categoría de tecnologías diagnósticas están los nanobiosensores, dispositivos capaces de detectar una gran variedad de sustancias químicas y biológicas de forma selectiva y con una elevada sensibilidad[9]. Estos nanosensores detectan cambios mecánicos, ópticos-eléctricos y son capaces de reaccionar con una única molécula de analito en un billón de litros de muestra.

Otros dispositivos que, años atrás, eran solo ensoñaciones de los autores de ciencia ficción son los nanorobots. El investigador español Samuel Sánchez tiene el récord Guinness por desarrollar el motor de propulsión más pequeño del mundo. Crea nanoestructuras que, además de ser capaces de liberar fármacos de forma controlada y dirigida, pueden propulsarse a través de un líquido para llegar a su destino imitando la quimiotaxis, el proceso que utilizan los microorganismos para moverse hacia las fuentes de alimento y huir de sustancias

Fuente: Yareli Rojas / Instituto de Investigaciones en Materiales de la Universidad Nacional Autónoma de México.

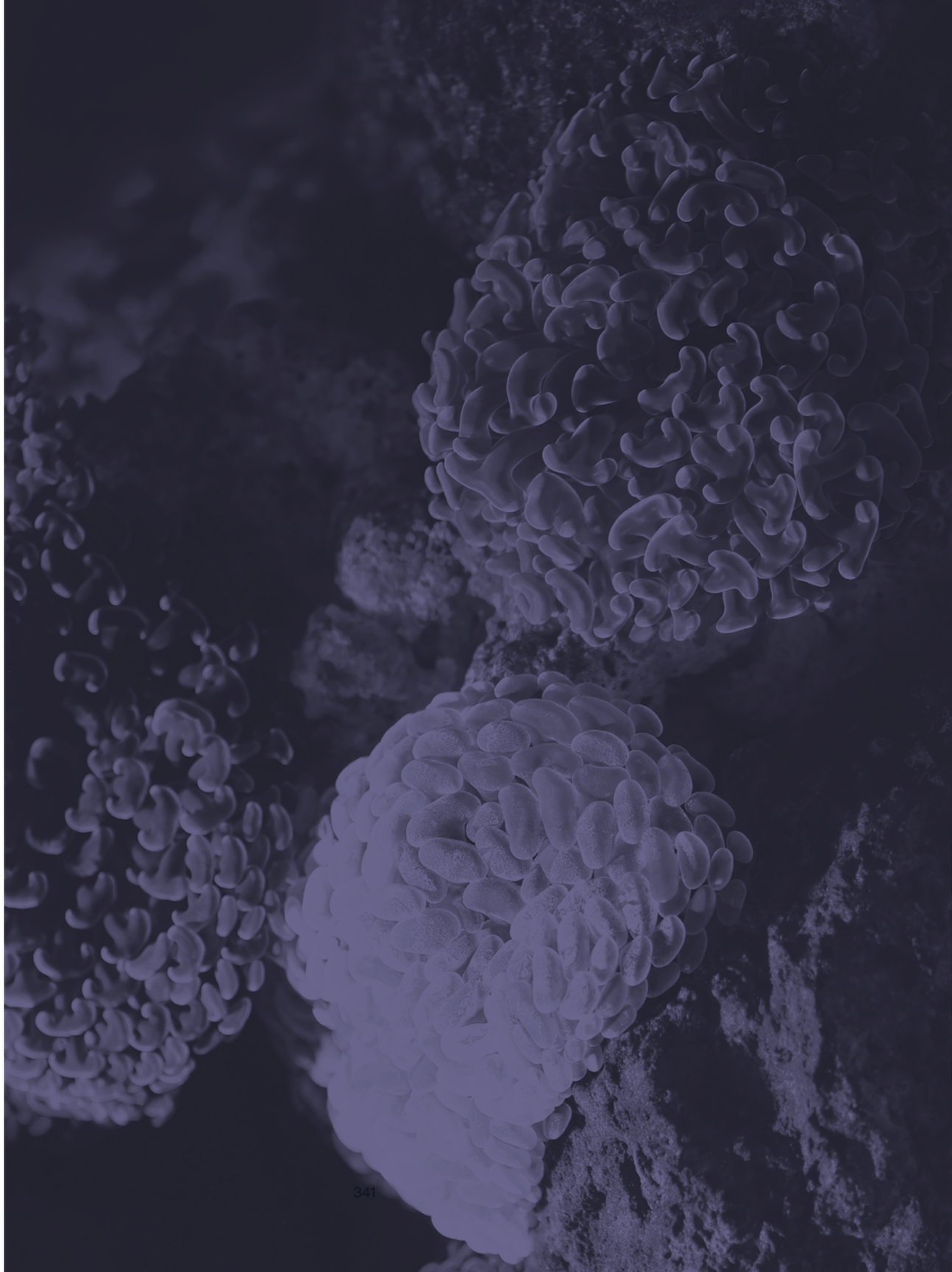
FIGURA 2.

LA NANOMEDICINA OFRECE GRANDES POSIBILIDADES EN DIFERENTES ÁREAS, DESDE LA LIBERACIÓN CONTROLADA DE FÁRMACOS A LA MEDICINA REGENERATIVA. UNA DE LAS OPORTUNIDADES MÁS ATRACTIVAS ES EL "TERAGNÓSTICO", EL DISEÑO DE NANOFÁRMACOS QUE, AL MISMO TIEMPO, PUEDAN UTILIZARSE COMO DIAGNÓSTICO Y COMO TRATAMIENTO DE ENFERMEDADES.



tóxicas y amenazas[10]. De momento, estos nanorobots funcionan en condiciones de laboratorio, pero los científicos continúan investigando para poder utilizar estas soluciones nanotecnológicas para tratamientos en *in vivo*[11].

La nanotecnología también abre un mundo de oportunidades en el campo de la medicina regenerativa, donde nuevos nanomateriales y nanoestructuras pueden servir como soporte para el crecimiento de líneas celulares y tejidos. Los avances más recientes permiten crear ambientes casi idénticos en composición y estructura a la matriz extracelular, una tecnología que minimiza el riesgo al rechazo y acelera la producción de modelos de laboratorio que pueden utilizarse para reemplazar la experimentación animal[12].





Oportunidades

Una Europa y una industria más verdes.

La nanomedicina ofrece grandes expectativas para el diagnóstico y el tratamiento de enfermedades. En España, consorcios como el Centro de Investigación Biomédica en Red en Bioingeniería, Biomateriales y Nanomedicina del Instituto de Salud Carlos III (CIBER-BBN), la Fundación Biocat y la Plataforma Española de Nanomedicina (NANOMED) trabajan por acelerar la investigación en este campo. De momento, estas colaboraciones son un éxito. En las últimas ediciones de EuroNanoMed, una plataforma europea que financia la investigación en este sector, los proyectos coordinados por investigadores españoles están a la cabeza[13].

En las últimas ediciones de EuroNanoMed, los proyectos coordinados por investigadores españoles están a la cabeza.

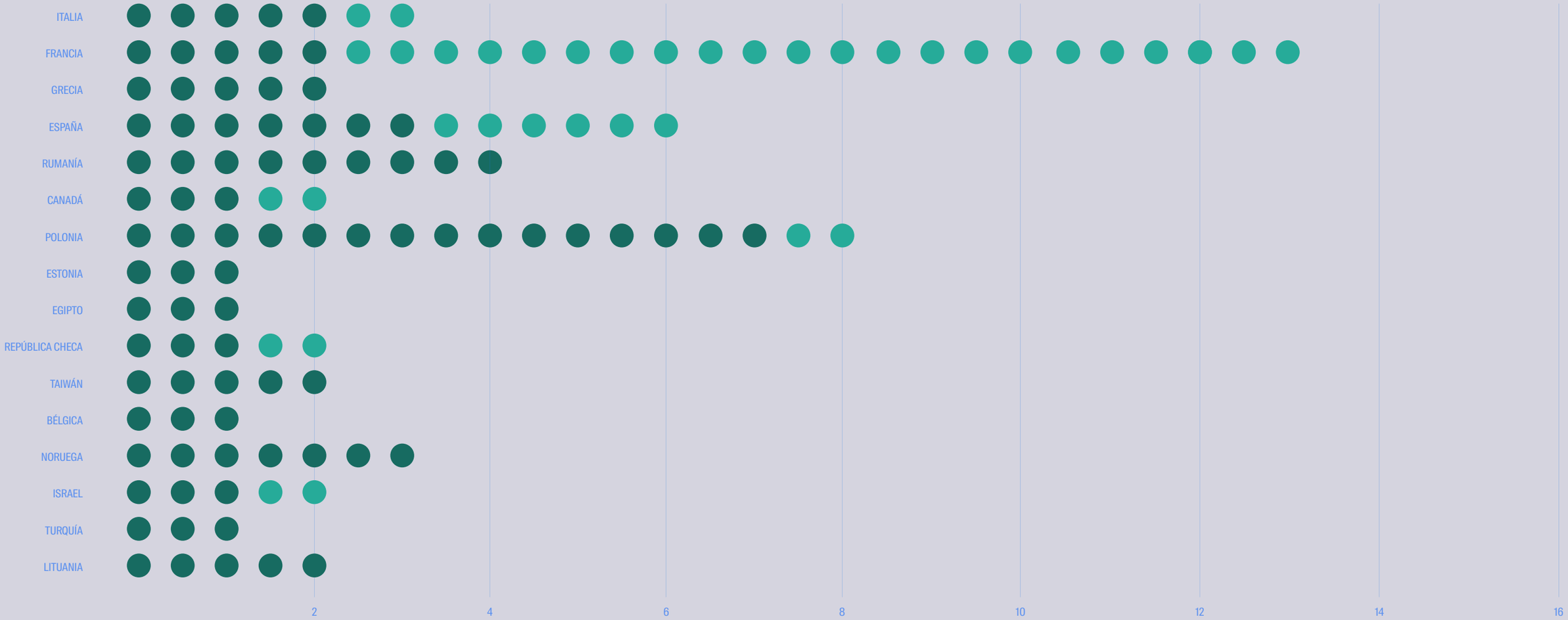
Entre 2007 y 2010, La Unión Europea invirtió más de 260 millones de euros en proyectos de investigación relacionados con nanomedicina[14]. También fomentó la creación de la Plataforma Tecnológica Europea de Nanomedicina (ETPN), una asociación con más de 125 miembros en 25 países que conecta investigadores académicos e industrias del sector para fomentar un ecosistema innovador y acelerar los avances en este campo[15]. Algunos de los proyectos financiados por estas plataformas han alcanzado los ensayos clínicos. Entre otros resultados, destacan las nuevas herramientas basadas en nanomedicina para administrar fármacos a tumores cancerosos de forma selectiva y controlada, nuevas tecnologías de diagnóstico e imagen y nuevos tratamientos para eliminar bacterias resistentes a antibióticos[16].

Al cierre de la última Joint Transnational Call 2020 de la iniciativa EuroNanoMed, España era el tercer país por presencia en grupos de investigación financiados (6), sólo por detrás de Francia (13) y Polonia (8), con el añadido de que nuestro país lo hacía en papel de coordinador en tres de ellos, sólo superado por el ecosistema investigador francés.

Fuente: EuroNanoMed.

FIGURA 3.

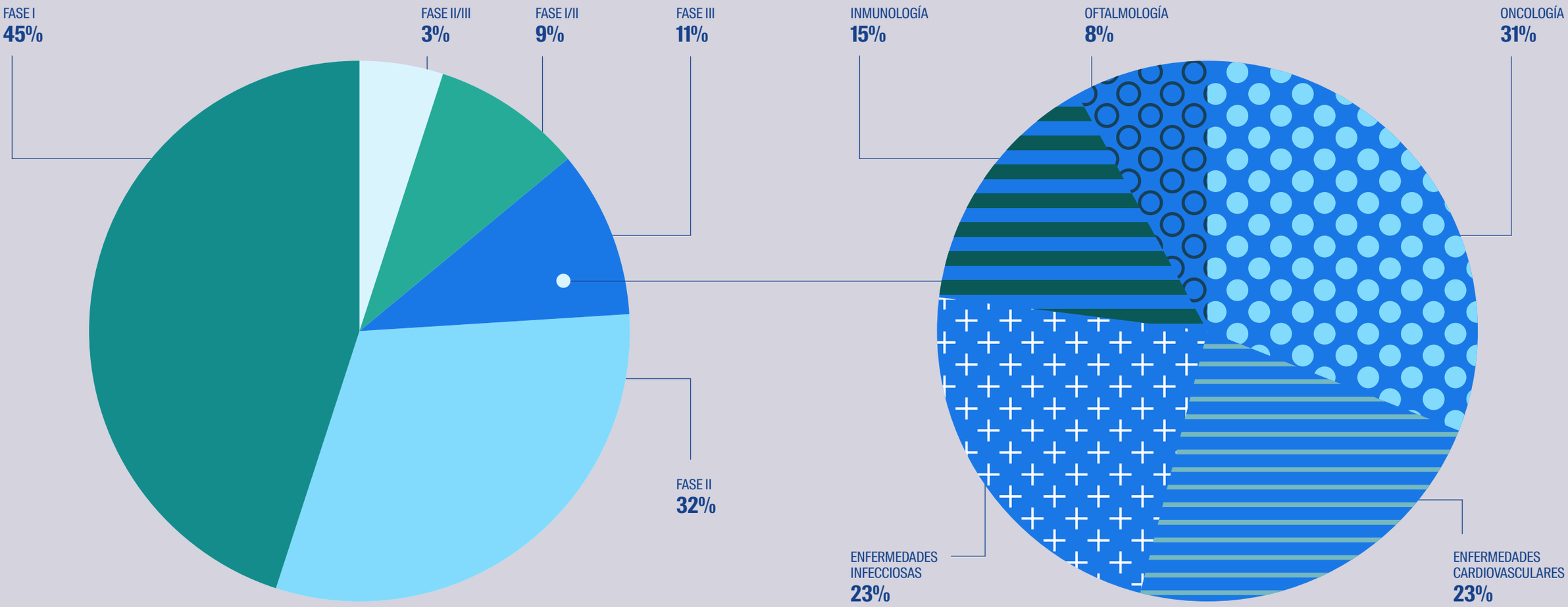
JUNTO CON FRANCIA Y POLONIA, ESPAÑA LIDERA LAS CONVOCATORIAS DE PROYECTOS DE INVESTIGACIÓN DE EURONANOMED, UNA PLATAFORMA EUROPEA QUE FINANCIA EL DESARROLLO DE NUEVAS TECNOLOGÍAS PARA NANOMEDICINA.



Fuente: ETPN.

FIGURA 4.

MUCHOS TRATAMIENTOS BASADOS EN NANOTECNOLOGÍA SE ESTÁN INVESTIGANDO EN ENSAYOS CLÍNICOS. DE LOS MÁS AVANZADOS (EN FASE III), DOMINAN LOS TRATAMIENTOS ONCOLÓGICOS, PERO TAMBIÉN LAS APLICACIONES PARA LUCHAR CONTRA ENFERMEDADES INFECCIOSAS Y PROBLEMAS CARDIOVASCULARES.



El potencial de España

Líderes en la investigación mundial en nanomedicina.

La historia reciente de la nanomedicina no ha sido un camino fácil. Desde que Robert Langer y Judah Folkman descubrieran entre 1974 y 1976 los materiales y medios de encapsulamiento que permitían liberar ADN y otras macromoléculas, la discusión en el seno de la comunidad científica no ha cesado. Estos pioneros tuvieron que enfrentar primero las reticencias de quienes pensaban que este tipo de sustancias eran demasiado grandes y frágiles para soportar el proceso de encapsulado y atravesar materiales.

En 1976, Langer y sus colegas hallaron polímeros hidrofóbicos (repelentes del agua) que, mezclados con proteínas en polvo y adaptados a formas microesféricas, podían liberar poco a poco estas proteínas durante periodos de hasta cien días.

Con el tiempo, los descubrimientos de Langer cambiaron radicalmente la forma de pensar de los químicos y de la comunidad científica en general. En 2009, la revista Nature reconocía a Langer como "el fundador del campo de la liberación controlada de fármacos". Sus hallazgos han resultado decisivos para el desarrollo de las terapias basadas en sistemas de distribución de ARN. Es el caso del ARN mensajero que constituye el fundamento de muchas de las vacunas contra la COVID 19, entre ellas Moderna, compañía de la que el propio Langer fue co-fundador.

Cuando a finales de la pasada década el Instituto Nacional del Cáncer de EE. UU. anunció que, después de 15 años, iba a dejar de financiar los Centros de Excelencia en Nanotecnología del Cáncer (CCNE), el sector sufrió una sacudida, la crisis de identidad que probablemente necesitaba. El profesor Kinam Park, entonces jefe de edición del *Journal of Controlled Release,* publicó en 2019 un editorial titulado "The beginning of the end of the nanomedicine hype"[17] y, un año después, la ETPN europea le respondió en esas mismas páginas con una defensa cerrada de su viabilidad[18].

La nanomedicina tenía ya más de 50 formulaciones en el mercado, incluidos tres productos clave, Onpattro, Hensify y Vyxeos. Estos avalaban la capacidad para superar barreras críticas en la medicina convencional de una manera única, así como para administrar dentro de las células nuevos efectos terapéuticos sin medicamentos. Para ello, utilizan modos de acción físicos puros, lo que puede marcar una diferencia en la vida de los pacientes. Tradicionalmente la mayoría de las clases de nanopartículas aprobadas estaban representadas por liposomas, coloides de hierro, nanopartículas a base de proteínas, nanoemulsiones, nanocristales y nanopartículas de óxidos metálicos. Pero esos tres nuevos compuestos no solo muestran que el número de formulaciones aprobadas aumenta constantemente, según la ETPN, sino que la energía transformadora no se detiene y siguen llegando al mercado propuestas innovadoras. En 2020, en efecto, había ya más de 400 formulaciones de nanomedicina en ensayo clínico dispuestas a introducir soluciones novedosas, entre ellas, la administración de ácido nucleico. Y lo hacían solas o en combinación con otras tecnologías habilitadoras clave, desde la biotecnología y los microfluidos a los materiales avanzados, los biomateriales, los sistemas inteligentes, la fotónica, la robótica y los textiles, pero también el Big Data y tecnologías de la información y la comunicación en general.

Las críticas de Park dibujaban una nanomedicina sobrevalorada, porque estaba demasiado centrada en la terapia del cáncer y sus promesas probablemente nunca se cumplirían. En un ejercicio de franqueza, la propia ETPN reconocía que

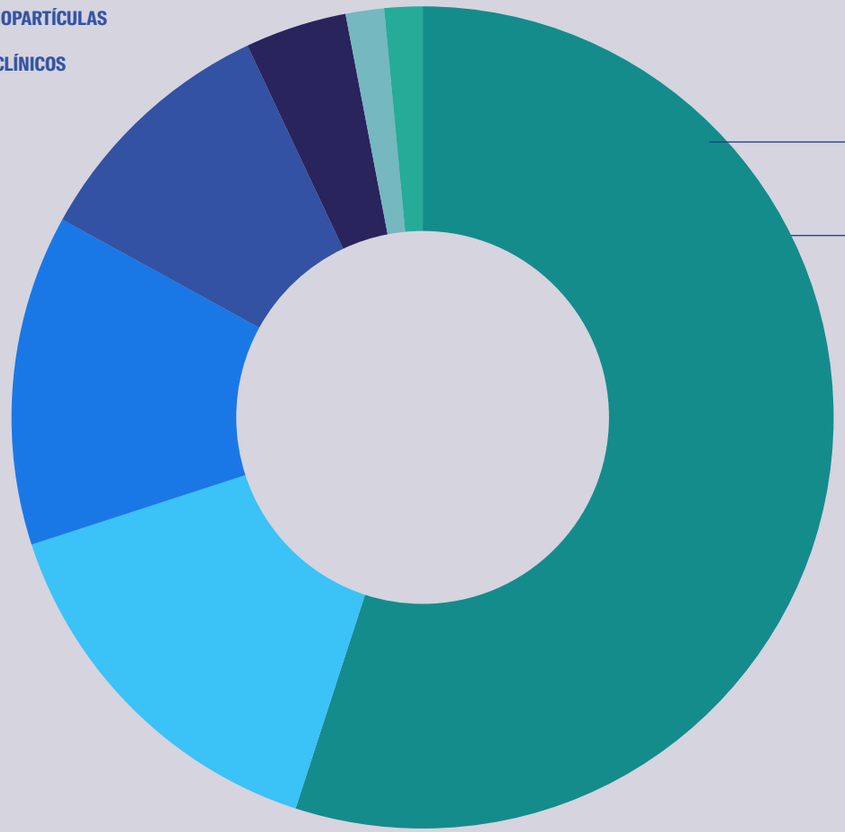
Fuente: ETPN.

- LIPOSOMAS
- NPS BASADAS EN PROTEÍNA
- ÓXIDO / METAL NPS
- NANOPARTÍCULAS A BASE DE LÍPIDOS
- OTROS
- NPS A BASE DE POLÍMERO
- MICELAS

FIGURA 5.

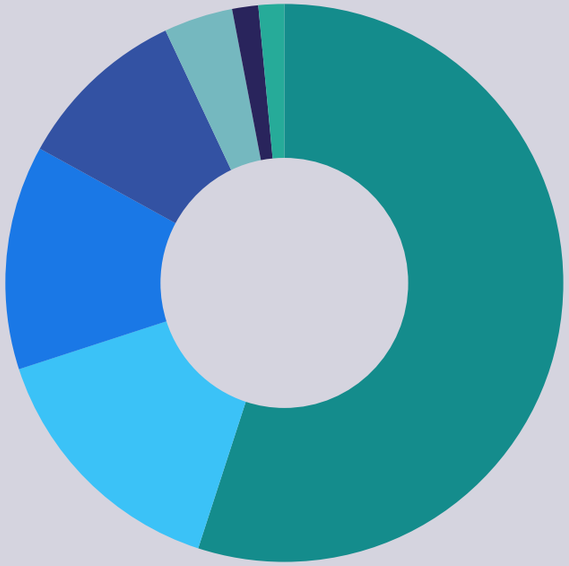
UNA GRAN PARTE DE LAS APLICACIONES DE NANOPARTÍCULAS Y NANOTECNOLOGÍA EN MEDICINA SE CENTRAN EN EL DIAGNÓSTICO Y EL TRATAMIENTO DEL CÁNCER. ESTE GRÁFICO MUESTRA LOS DIFERENTES TIPOS DE NANOPARTÍCULAS UTILIZADAS EN ENSAYOS CLÍNICOS Y LAS SEPARA EN APLICACIONES EN ONCOLOGÍA (EL 65%) Y OTRAS ENFERMEDADES.

TIPOS DE NANOPARTÍCULAS UTILIZADAS EN ENSAYOS CLÍNICOS (2008-2020)



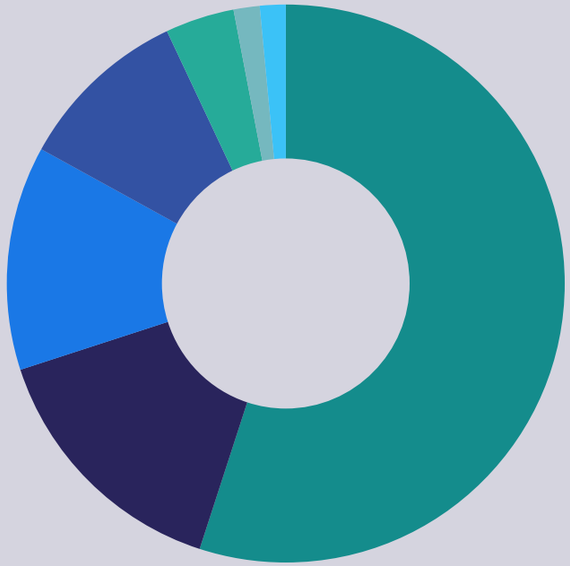
65%

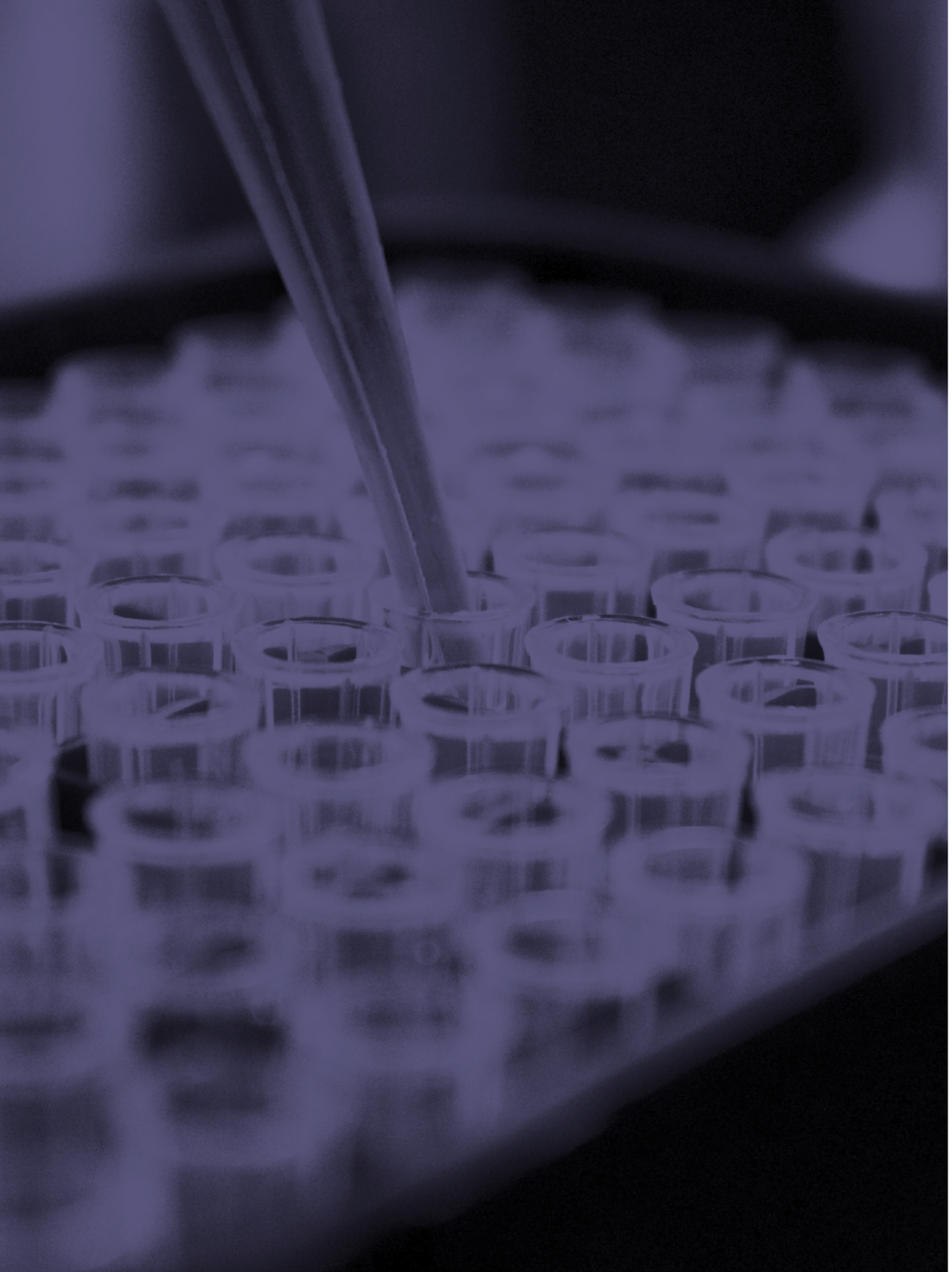
ENSAYOS CLÍNICOS CÁNCER (2008-2020)



35%

ENSAYOS CLÍNICOS OTROS (2008-2020)





menos del 1% del ingrediente farmacológico activo se libera hoy localmente y, según la base de datos Clinicaltrials.gov del Gobierno de EE. UU., el 65% de los ensayos clínicos en curso se centran en aplicaciones para el cáncer. Pero a favor de la nanomedicina hay que decir que la tasa de éxito de los medicamentos contra el cáncer con nanotecnología habilitada en la fase I de ensayos clínicos es del 94%, y las tasas de éxito de las fases II y III son respectivamente del 48% y el 14%. La tasa de éxito total estimada desde la fase I hasta la aprobación alcanza así el 6%, superior a la de los fármacos convencionales en oncología, 3,4%[19].

La tasa de éxito de los medicamentos contra el cáncer con nanotecnología habilitada en la fase I de ensayos clínicos es del 94%.

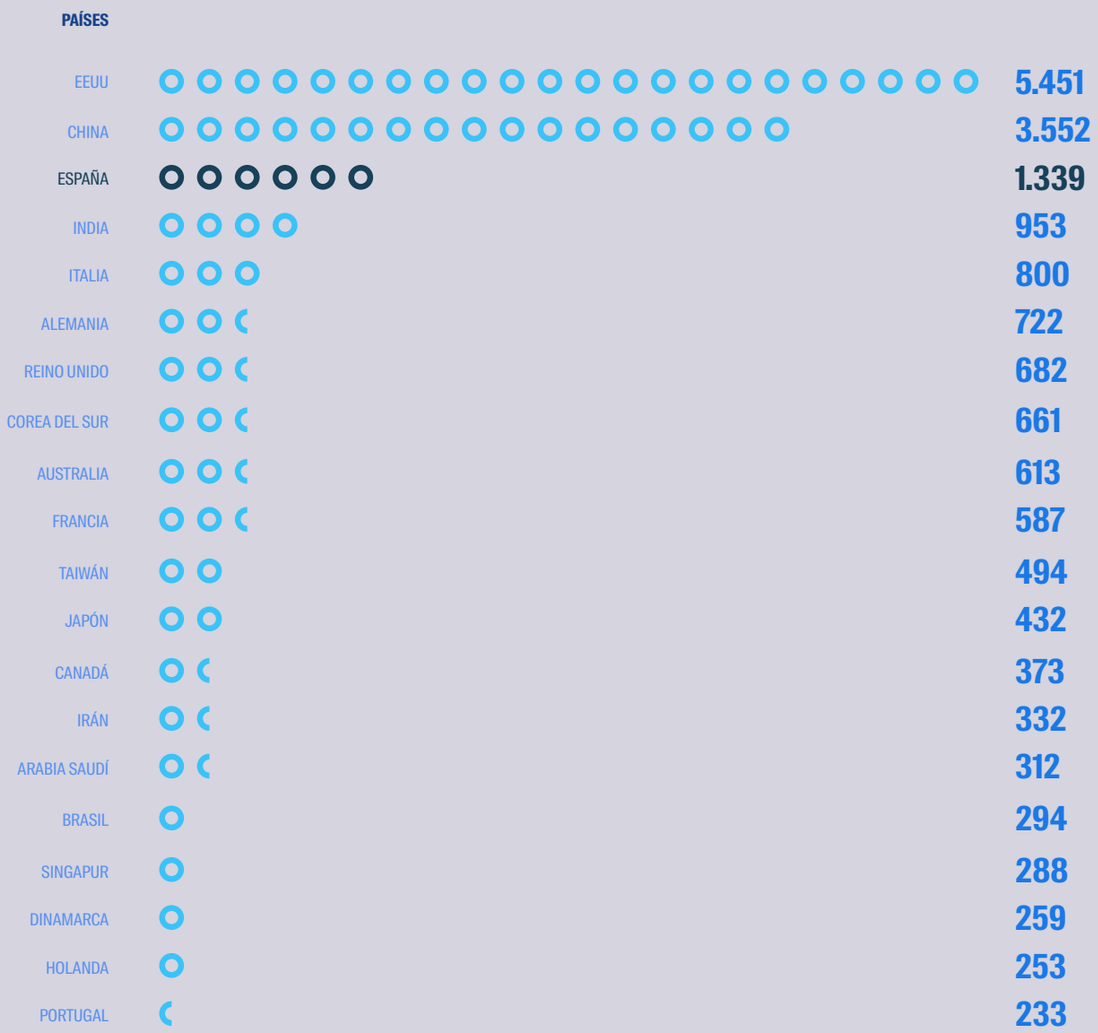
Aunque las patentes de nanomedicina solo representan 3.497 de un total de 48.212 patentes concedidas en nanotecnología 1974-2016 en EE. UU.,[20] han permitido incorporar al tratamiento del cáncer potenciadores de radio como el NBTXR3, que podría ser un concepto revolucionario para abordar los tumores sólidos. Y gracias a la nanomedicina se abren nuevas vías de mejora en el diagnóstico temprano del cáncer mediante el uso de agentes de contraste ultrasensibles, incluidas nanopartículas de óxido de hierro y agentes de contraste mediado por liposomas en gammagrafía. Las perspectivas, por mucho que le pese a Park, siguen siendo tan prometedoras que se ha registrado un crecimiento mundial en la investigación en nanotecnología del cáncer, lo que ha resultado en un aumento de más del doble en el número de solicitudes de proyectos de investigación relacionadas con esta línea de investigación otorgadas en todo el mundo entre 2008 y 2018.

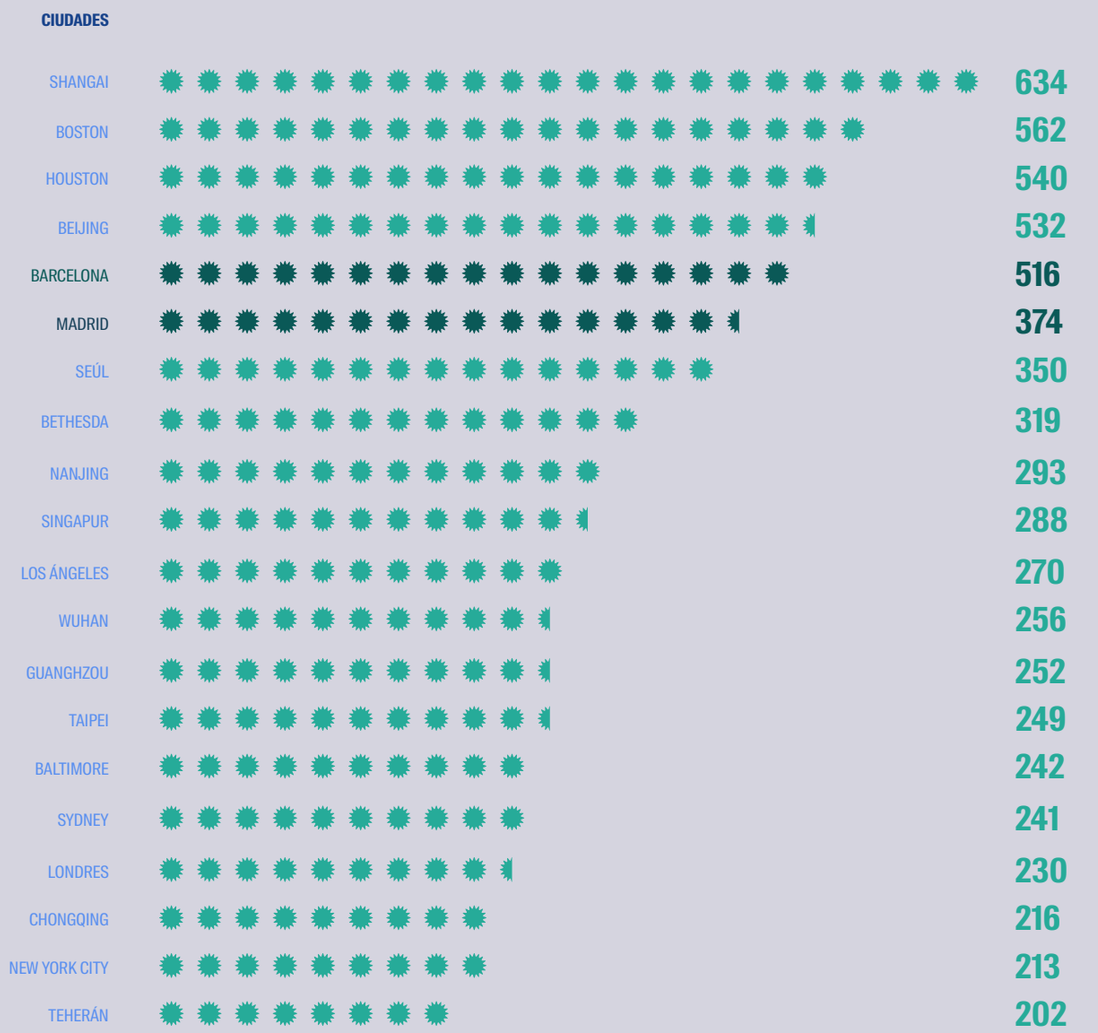
En cuanto al otro 35% de investigaciones en nanomedicina, las que se destinan a aplicaciones clínicas distintas del cáncer, se sigue con atención el potencial de desarrollo en otras áreas terapéuticas, como el sistema nervioso central. A partir de sus propiedades fisicoquímicas únicas, como el aco-

Fuente: PubMed.

FIGURA 6.

ESPAÑA ES EL LÍDER EUROPEO EN PUBLICACIONES SOBRE NANOMEDICINA. A NIVEL MUNDIAL, SÓLO CHINA Y EE. UU. (PAÍSES CON UNA MANO DE OBRA Y UNA INVERSIÓN EN I+D MUCHO MAYOR QUE LAS ESPAÑOLAS) PUBLICAN MÁS.





plamiento de agentes diana, las nanomedicinas pueden actuar o atravesar la barrera hematoencefálica y administrar el tratamiento de manera más eficiente dentro del sistema nervioso central. Cada vez más empresas se lanzan a desarrollar activamente nanomedicinas invirtiendo miles de millones de dólares, ya sea en el desarrollo de su propia cartera de proyectos o mediante adquisiciones. Entre ellas hay empresas pequeñas y medianas centradas en I+D, así como multinacionales como Pfizer, Eli Lilly, Novartis o Sanofi. La comunidad de investigación en nanomedicina ha ampliado el foco hacia enfermedades cardiovasculares, autoinmunes, neurológicas, infecciosas, genéticas y raras, con un capítulo especial para las vacunas sintéticas basadas en ARN, cuyo éxito en la lucha contra la Covid-19 está fuera de toda duda. Es cuestión de tiempo que las agencias de financiación de la ciencia y los responsables públicos den un apoyo explícito a dicha diversificación más allá del cáncer[21].

España es un caso singular en el panorama internacional porque el interés que despierta la nanomedicina en la comunidad científica es mucho más notorio todavía que el del mercado. Nuestro país ocupaba en 2018 el tercer puesto mundial en número de publicaciones, con 1.339, solo por detrás de EE. UU. (5.451) y China (3.522), según datos de GoPubmed citados por Nanomed Spain, y Barcelona y Madrid se sitúan en quinto y sexto lugar mundial como origen de esos artículos.

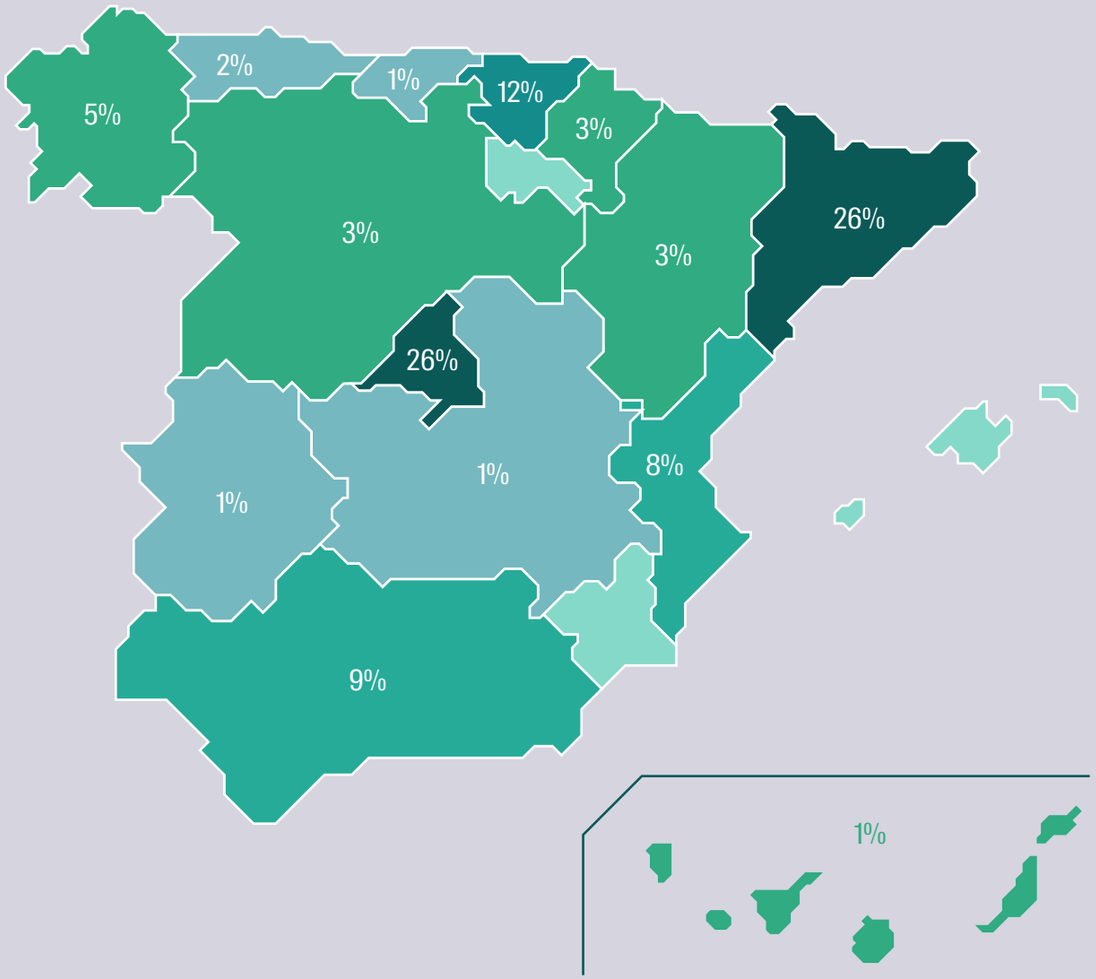
La convocatoria EuroNanoMed, mencionada anteriormente, es un buen termómetro porque logra movilizar y da visibilidad a los grupos de trabajo más activos en Europa en este momento. Por eso, resulta indicativo que un 60% de los participantes en de los 53 proyectos que financió en 2020 procedan del ámbito académico y sólo el 25% de la industria, mientras que el 15% restante corresponde a los sistemas de salud públicos. En favor de la diversificación de las investigaciones en nanomedicina hay que decir que el 31% de los fondos de esa tercera fase de EuroNanoMed fueron a parar a la oncología, seguida de las enfermedades infecciosas (23%), cardiovasculares (23%), inmunológicas (15%) y oftalmológicas (8%).

Vista la tendencia general, no debe extrañar que de los 156 miembros de la Plataforma Española de Nanomedicina sólo un 28% sean empresas (el grupo más numeroso son los centros de investigación, con el 53%) y que de los 11 programas de nanomedicina que recibirán financiación del Fondo Covid-19, lanzado desde el Instituto de Salud Carlos III, sólo dos provengan de la iniciativa privada.

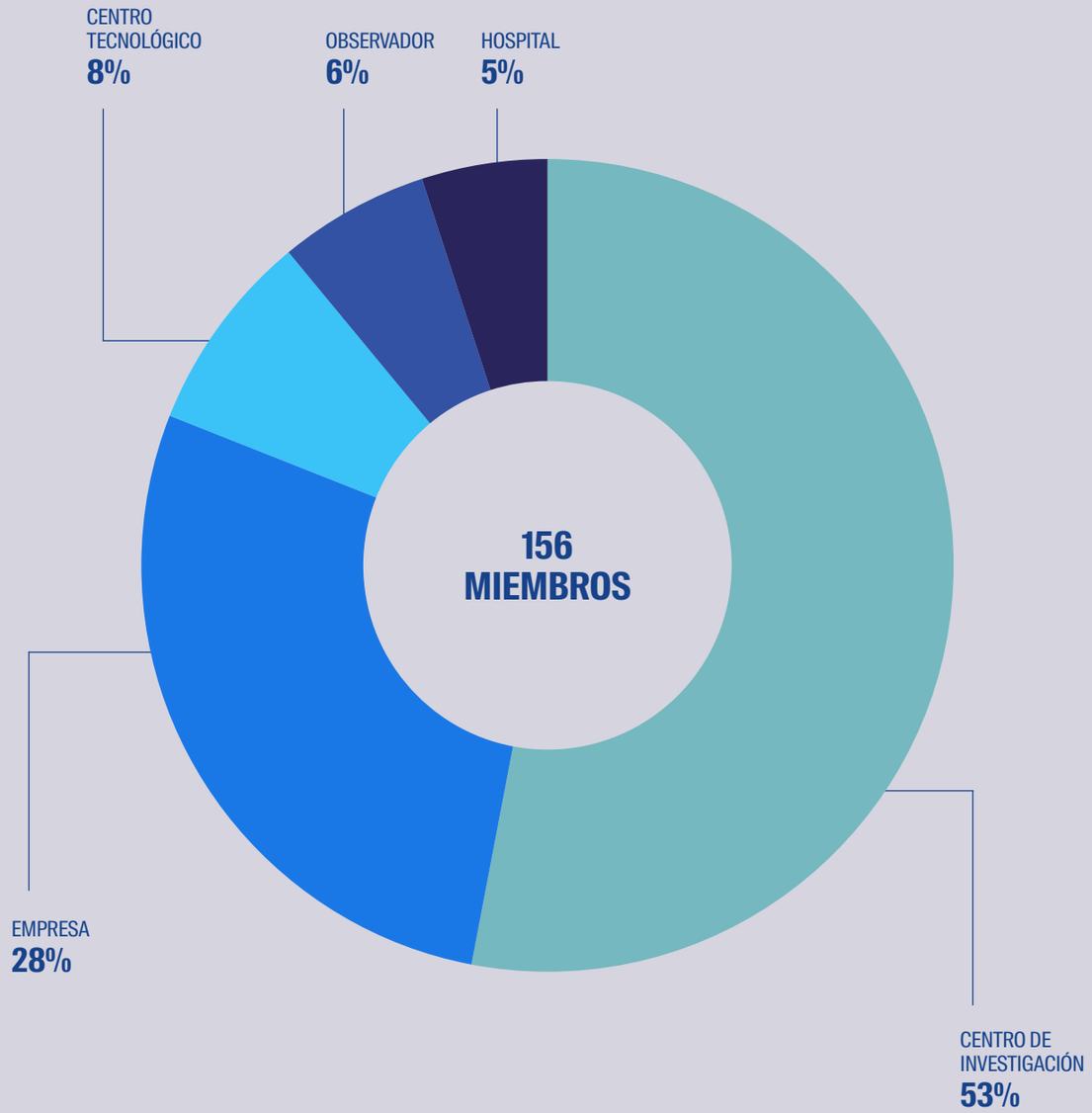
Solo un 28 por ciento de los 156 miembros de la Plataforma Española de Nanomedicina, son empresas.

FIGURA 7.

LA PLATAFORMA ESPAÑOLA DE NANOMEDICINA ESTÁ COMPUESTA POR MÁS DE 150 MIEMBROS, EN SU MAYORÍA CENTROS DE INVESTIGACIÓN. FOMENTAR LA PARTICIPACIÓN DE PYMES Y GRANDES EMPRESAS GARANTIZARÍA QUE ESPAÑA MANTENGA EL LIDERAZGO EN EL CAMPO DE LA NANOMEDICINA.



Fuente: Plataforma Española de Tecnología.



Retos

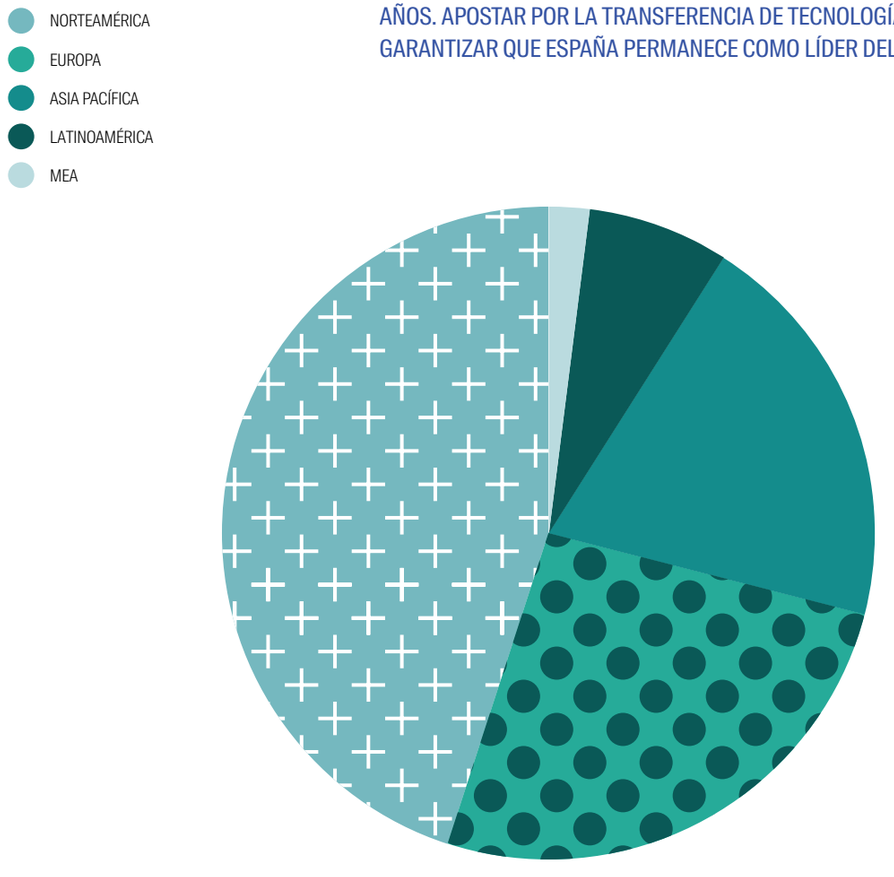
La comercialización de la tecnología.

Algunos científicos han dado el salto del laboratorio a la empresa, como María Jesús Vicent, del Centro de Investigación Príncipe Felipe, que recibió el impulso financiero de Columbus Ventures Partners. En 2019, inauguró la primera planta europea para la fabricación de polipéptidos con calidad farmacéutica a escala industrial, capaz de producir hasta 60 kilos al año. Estos sistemas de transporte de agentes bioactivos permiten personalizar la solución farmacológica en función del órgano a tratar o del tiempo necesario de liberación del fármaco. La empresa de Vicent logró escalar, desde dos gramos hasta varios kilos, la producción de un nanofármaco que combate enfermedades cardiovasculares. En poco tiempo, consiguieron que la FDA validara sus análisis y atrajeron una inversión de 17 millones de euros por parte de la multinacional farmacéutica japonesa Shionogi.

La Fundación para la Investigación y la Innovación Biosanitaria de Asturias coordina un proyecto para encontrar una nueva ruta de administración de medicamentos al sistema nervioso central, capaz de superar la barrera hematoencefálica, mediante la técnica de la pseudoentrega. Se trata de un dispositivo implantable patentado, que pone en contacto moléculas objetivo presentes en el líquido cefalorraquídeo con fármacos infundidos en el interior del dispositivo.

El proyecto PLATMED que lidera Instituto de Investigación Sanitaria de Santiago de Compostela (IDIS) se plantea fabricar un nuevo modelo de nanomedicinas “inteligentes” para mejorar la eficacia trombolítica del rtPA (activador de plasminógeno tisular recombinante) para casos de accidente cerebrovascular, reducir el riesgo de hemorragia sistémica y evaluar la tasa de recanalización mediante técnicas de imagen. También el IDIS se encarga de coordinar el proyecto 2^2-INTRA-TARGET que busca diseñar nanoportadores para administrar anticuerpos hacia dianas intracelulares en células cancerosas.

MERCADO DE NANOMEDICINA POR REGIONES 2016



Fuente: Grandviewresearch.com

FIGURA 8.1.

SE PREVÉ QUE EL MERCADO DE LA NANOMEDICINA SIGA CRECIENDO, CASI EXPONENCIALMENTE, DURANTE LOS PRÓXIMOS CINCO AÑOS. APOSTAR POR LA TRANSFERENCIA DE TECNOLOGÍA ES UNA MANERA DE GARANTIZAR QUE ESPAÑA PERMANECE COMO LÍDER DEL SECTOR.

Fuente: Grandviewresearch.com

FIGURA 8.2.

MERCADO ESTADOUNIDENSE DE NANOMEDICINA POR PRODUCTOS 2013-2015 (USD BILLION).



Conclusiones

Durante años, España ha liderado la innovación en el campo de la nanomedicina. Ahora que la tecnología está desarrollada, es el momento de que empresas e inversores apuesten por ella. Conviene probar las soluciones más prometedoras en estudios clínicos para acelerar su entrada al mercado. Las aplicaciones de la nanotecnología en medicina pasan por el diagnóstico, el tratamiento, la reducción de efectos secundarios e, incluso, el enorme potencial de luchar de manera más eficaz contra organismos infecciosos como el SARS-CoV-2 o las bacterias resistentes a antibióticos. Con las vacunas contra la COVID-19, que reducen de manera eficaz el avance de la enfermedad, hemos sido testigos del tremendo potencial de la nanotecnología. Aplicada a la medicina, podría mejorar nuestra calidad de vida y, al mismo tiempo, facilitar una asistencia sanitaria más personalizada y asequible. Actualmente, España es uno de los líderes europeos en investigación en nanomedicina y, además, cuenta con varios casos de éxito empresarial. Es el momento de invertir en transferencia. Está previsto que el mercado de la nanomedicina siga creciendo exponencialmente hasta 2025, impulsado por todos los medicamentos, herramientas de diagnóstico y vacunas que ahora mismo se encuentran en las primeras fases de ensayos clínicos. España tiene que fomentar la creación de nuevas empresas tecnológicas y la transferencia del conocimiento y el *know-how* que se genera en los centros de investigación.

1. Gutiérrez, L. y De la Fuente, J.M. **“Nanomedicina”,** Sociedad Española de Bioquímica y Biología Molecular (SEBBM). Consultado el 6 de marzo de 2021.

2. Compound Interest (2020). **“What are the COVID-19 RNA vaccines and how do they work?”** Consultado el 6 de marzo de 2021.

3. Maity, A.R. y Stepensky, D. **Delivery of drugs to intracellular organelles using drug delivery systems: Analysis of research trends and targeting efficiencies,** ***International Journal of Pharmaceutics,*** 2015, 496(2), pp. 268-274.

4. CIC bioGUNE (2013). **“Nanopartículas para liberar fármacos de forma controlada.”** Consultado el 6 de marzo de 2021.

5. Magforce (n.d.) **“Our therapy”.** Consultado el 6 de marzo de 2021.

6. La Vanguardia / Agencia EFE (2015). **“Luz infrarroja contra el cáncer.”** Consultado el 6 de marzo de 2021.

7. Clínica Universitaria de Navarra (2019). **“La teragnosis, el dos en uno de la precisión médica.”** Consultado el 6 de marzo de 2021.

8. Marcos, A. **“Señales que iluminan el cáncer en el interior del cuerpo.”** Heraldo de Aragón / Agencia SINC, 2 de diciembre de 2020. Consultado el 6 de marzo de 2021.

9. Lechuga, L.M (2011). **“Nanomedicina: aplicación de la nanotecnología en la salud.”** Consultado el 6 de marzo de 2021.

10. Fava, P. **“El bioquímico catalán que combate el cáncer fabricando robots mil veces más finos que un cabello.”** El Español, 16 de julio de 2018. Consultado el 6 de marzo de 2021.

11. IBEC (2020). **“BioEngineering Hybrid Robotic Machines: from nanobots to 3D Bioprinted Robots.”** Consultado el 6 de marzo de 2021.

12. Luna, M. **“Nano-ingeniería de tejidos para medicina regenerativa.”** El Mundo, 22 de agosto de 2011. Consultado el 7 de marzo de 2021.

13. Nanomed (2020). **“Éxito de financiación para la investigación en nanomedicina en España.”** Consultado el 7 de marzo de 2021.

14. CORDIS (n.d.). **“Nanomedicina: formas innovadoras de tratar afecciones complejas”.** Consultado el 7 de marzo de 2021.

15. ETPN (n.d.). **“What is the ETPN?”.** Consultado el 7 de marzo de 2021.

16. CORDIS (2018). **“Nuevos métodos de diagnóstico y tratamiento para bacterias resistentes a los antibióticos.”** Consultado el 7 de marzo de 2021.

17. Park, K. **The beginning of the end of the nanomedicine hype,** ***Journal of Controlled Release,*** 10 de julio de 2019. Consultado el 5 de marzo de 2021.

18. Germaina, M., et al. **Delivering the power of nanomedicine to patients today,** ***Journal of Controlled Release,*** 10 de octubre de 2020. Consultado el 5 de marzo de 2021.

19. He, H., et al. **Survey of clinical translation of Cancer Nanomedicines—lessons learned from successes and failures,** ***Accounts of Chemical Research,*** 19 de agosto de 2019. Consultado el 5 de marzo de 2021.

20. Zingg, R. y Fischer, M. **The consolidation of nanomedicine,** ***WIREs Nanomed Nanobiotechnol.*** 26 de junio de 2019. Consultado el 4 de marzo de 2021,

21. Martins, J.P. et al. **The solid progress of nanomedicine,** ***Drug Deliv. and Transl.,*** 5 de marzo de 2020. Consultado el 4 de marzo de 2021.

Créditos

COMITÉ CIENTÍFICO DE EXPERTOS.

María José Alonso Fernández.
Editora en jefe de la revista Drug Delivery and Translational Research (DDTR). Ex-presidenta de Controlled Release Society (CRS). Investigador Principal Instituto de Investigaciones CIMUS de la Universidad de Santiago de Compostela (USC). Catedrática de Farmacia y Tecnología Farmacéutica en la USC.

Pablo Artal Soriano.
Doctor en Física y Catedrático de Óptica en la Universidad de Murcia. Fundador de la empresa de base tecnológica Voptica. Presidente del panel de Física en la Agencia Estatal de Investigación. Premio Nacional de Investigación 2018

María Blasco Marhuenda.
Doctora en Bioquímica y Biología Molecular. Directora del Centro Nacional de Investigaciones Oncológicas (CNIO). Premio Nacional de Investigación 2010.

Lina Gálvez Muñoz.
Europarlamentaria (Vicepresidenta de la Comisión de Industria, Investigación y Energía. Miembro de la Comisión de los Derechos de la Mujer e Igualdad de Género y del Panel para el Futuro de la Ciencia y la Tecnología). Catedrática de Historia e Instituciones Económicas en el Departamento de Economía de la Universidad Pablo Olavide (Sevilla).

Laura Lechuga Gómez.
Profesora de Investigación del CSIC (GEN-CAT-CSIC-UAB), Jefa del Grupo de Nanobiosensores y Aplicaciones Bioanalíticas en el ICN2 y en el CIBER-BBN. Premio Nacional de Investigación 2020.

Nuria Oliver Ramírez.
Directora de investigación de ciencia de datos en Vodafone. Chief Data Scientist Data-Pop Alliance. Co-fundadora y consejera científica de Fundación Ellis de Inteligencia Artificial.

Manuel de León Rodríguez.
Matemático y Doctor en Ciencias Matemáticas. Profesor de Investigación del CSIC y Académico de la Real Academia de Ciencias Exactas, Físicas y Naturales. Ha sido Fundador y Director del Instituto de Ciencias Matemáticas (ICMAT).

Susana Marcos Celestino.
Directora del Centro de Ciencia Visuales de la Universidad de Rochester. Profesora de Investigación y Directora del Laboratorio de Óptica Visual y Biofotónica del Instituto de Óptica del CSIC. Vicepresidenta del Comité Científico Asesor de la Agencia Estatal de Investigación. Premio Nacional de Investigación 2019.

María Ángela Nieto Toledano.
Profesora de Investigación en el Instituto de Neurociencias (CSIC-UMH) en Alicante, miembro de CIBERER y Presidenta de la Sociedad Internacional de Biología del Desarrollo (ISDB). Premio Nacional de Investigación 2019.

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

Héctor Perea Saavedra.
Ingeniero industrial. Ex Director de Estrategia y Desarrollo de Negocio en CEPSA.

Javier Ventura-Traveset Bosch.
Doctor Ingeniero de Telecomunicaciones. Director de la Oficina Científica de Navegación por Satélite y Secretario Ejecutivo del Comité Científico Asesor del programa Galileo de la Agencia Espacial Europea (ESA), Portavoz en España de la ESA y miembro de la Real Academia de Ingeniería de España.

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.

CATEDRÁTICO RAFAEL DEL PINO.

Javier García Martínez.
Miembro del Consejo de Tecnologías Emergentes del Foro Económico Mundial. Presidente electo de la Unión Internacional de Química Pura y Aplicada (IUPAC). Catedrático de Química Inorgánica y director del Laboratorio de Nanotecnología Molecular de la Universidad de Alicante. Presidente de la Academia Joven de España.

EQUIPO CÁTEDRA CIENCIA Y SOCIEDAD FUNDACION RAFAEL DEL PINO.

Jordi Sánchez Navas.
Doctor en Filosofía y Letras. Coordinador Cátedra Ciencia y Sociedad.

INFORME 10 TECNOLOGÍA PARA IMPULSAR A ESPAÑA.

Fernando Gomollón Bel.
Doctor en química orgánica y experto en comunicación científica. Autor de las diez tecnologías (textos y elaboración de material infográfico).

Eugenio Mallol Sanchis.
Periodista, divulgador y analista. Autor del análisis y hoja de ruta y colaborador en las diez tecnologías (ecosistema innovador).

Concepto visual, infografías, diseño y maquetación:
Germinal & Brandon Love.
Supervisión editorial:
Jordi Sánchez Navas.

FUNDACIÓN
RAFAEL
DEL PINO

CÁTEDRA
CIENCIA Y SOCIEDAD