

INTEC 2022

# DIEZ TECNOLOGÍAS PARA IMPULSAR A ESPAÑA

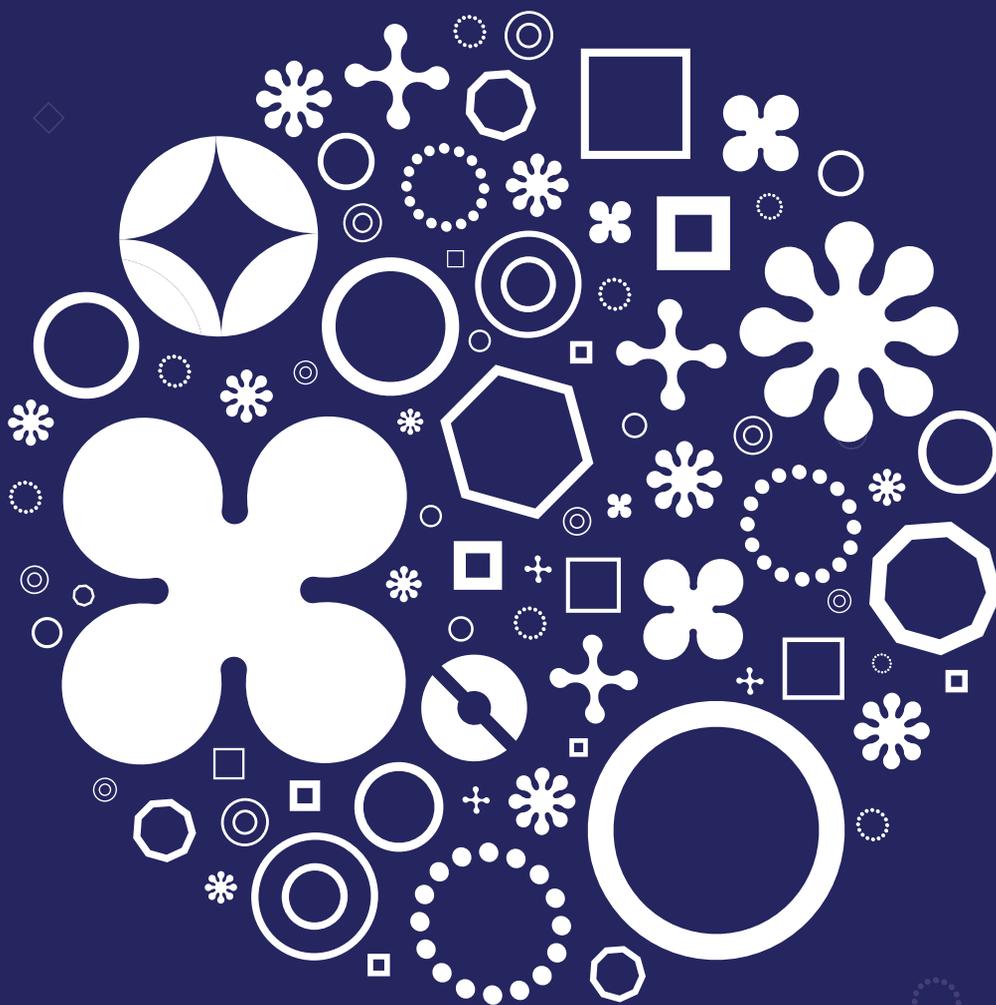
RESUMEN EJECUTIVO



FUNDACIÓN  
RAFAEL  
DEL PINO



CÁTEDRA  
CIENCIA Y SOCIEDAD





# Índice



**00. Análisis y hoja de ruta**  
P. 08



**01. Captura y valorización del CO<sub>2</sub>**  
Hacia una economía circular: El dióxido de carbono como materia prima  
P. 32



**02. Tecnologías para la detección de bacterias resistentes**  
Superbacterias: Identificarlas para acelerar el diagnóstico y tratamiento  
P. 62



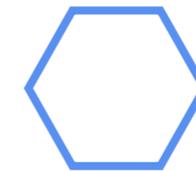
**03. Movilidad inteligente**  
Electrificación y conducción autónoma en vehículos inteligentes para ciudades conectadas y sostenibles  
P. 94



**04. Elementos críticos**  
Materiales abundantes, tecnologías alternativas y sistemas de reciclaje  
P. 124



**05. Matemáticas para un mundo sostenible**  
Sistemas más eficientes para la generación de energía, la digitalización, el estudio de los ecosistemas y el cambio climático  
P. 152



**06. Metaverso**  
Un nuevo espacio híbrido donde explorar, crear e interactuar con otros usuarios a distancia.  
P. 184



**07. Fertilizantes inteligentes**  
Liberación gradual de ingredientes activos para una agricultura productiva y sostenible  
P. 216



**08. Materiales teragnósticos**  
identificación mediante receptores 'diana' y tratamiento de alta precisión y menos invasivo  
P. 246



**09. El mundo de los robots**  
Robots que protagonizan la salud y los cuidados y transforman la industria  
P. 272



**10. El turismo de las cosas**  
internet de las cosas, inteligencia artificial, big data, realidad virtual y aumentada para ofrecer al turista experiencias personalizadas y más enriquecedoras  
P. 302

# Saluda

## Javier García Martínez



En tiempos de enorme incertidumbre es importante dar voz a aquellas personas que, por sus conocimientos y experiencia pueden, desde su atalaya, ayudarnos a ver con altura, a observar con mayor claridad y a tener mejor perspectiva. Por eso, desde 2019, en la cátedra de ciencia y sociedad de la Fundación Rafael del Pino hemos invitado a catorce de los mejores expertos que tenemos en el país para que nos digan cuáles son, en su opinión, las tecnologías por las que tenemos que apostar para mejorar la competitividad de nuestra economía.

Esta no es la única iniciativa que tiene como objetivo seleccionar tecnologías, pero nuestra actividad es distinta porque esta selección no está basada en criterios de novedad o científicos, sino en la capacidad de estas tecnologías de mejorar nuestra economía y porque nace con vocación de tener un impacto real en la toma de decisiones. Estas tecnologías pretenden ser una hoja de ruta que ayude a destinar los recursos y los esfuerzos allí donde pueden tener mayor impacto. Con esta iniciativa pretendemos fomentar una conversación sobre el papel de la tecnología en el futuro de la economía española, pero no queremos

quedarnos sólo en palabras. Por eso, en la elección de las tecnologías pesa más su encaje en el sistema productivo español que los aspectos técnicos o de mérito científico.

Este informe que tienes en tus manos es el resultado de la reflexión, debate y recomendaciones de algunos de los mejores expertos de nuestro país. Es un mapa sobre el futuro que han cartografiado los que mejor lo conocen. Este esfuerzo de prospectiva, que es común en los países anglosajones, representa, por tanto, una oportunidad única y necesaria. Pero este trabajo va más allá de la selección de diez tecnologías. Porque una vez identificadas, empieza el trabajo de explicarlas con detalle, de forma sencilla pero rigurosa y sobre todo de conectarlas con la realidad productiva, económica y social de nuestro país. Un trabajo que es urgente y muy necesario en un momento en el que los Fondo de Recuperación Europeos nos dan los recursos para modernizar nuestro sistema productivo desde la digitalización, la sostenibilidad y una nueva economía circular basada en el conocimiento.

Hemos hecho un esfuerzo importante para poner en imágenes los conceptos más técnicos que comentamos en el informe. Como puedes ver, cada uno de los capítulos comienza con una infografía que captura de forma sencilla pero precisa el fundamento y las posibilidades de la

tecnología que lo protagoniza. Las gráficas, tablas y mapas son especialmente útiles para comunicar la información cuantitativa de una forma visualmente atractiva y para mostrar las oportunidades que ofrece cada una de las tecnologías.

No se me ocurre una obra más necesaria para el momento que vivimos. Cada una de estas diez tecnologías, seleccionadas por algunos de los mejores especialistas de nuestro país, representa una oportunidad excepcional para hacer realidad el objetivo, largamente repetido de transitar hacia una nueva economía basada en el conocimiento. Está escrito con la rigurosidad necesaria pero también con sencillez y contiene numerosas imágenes, mapas y esquemas para que cualquier persona pueda entender las ideas que contiene.

Dirigir una obra así es todo un privilegio, por eso quiero agradecer a la Fundación Rafael del Pino la confianza y la oportunidad que me ha dado para liderar su cátedra de ciencia y sociedad; pero los verdaderos protagonistas de este informe son sus expertos. Ellos son los que realizan, de forma colegiada, la tarea más difícil e importante, esto es, la selección de las tecnologías. A esta tarea le dedicamos mucho tiempo en un proceso que comienza con la propuesta de múltiples tecnologías por parte de cada experto. Posteriormente, y en diversas fases, vamos elimi-

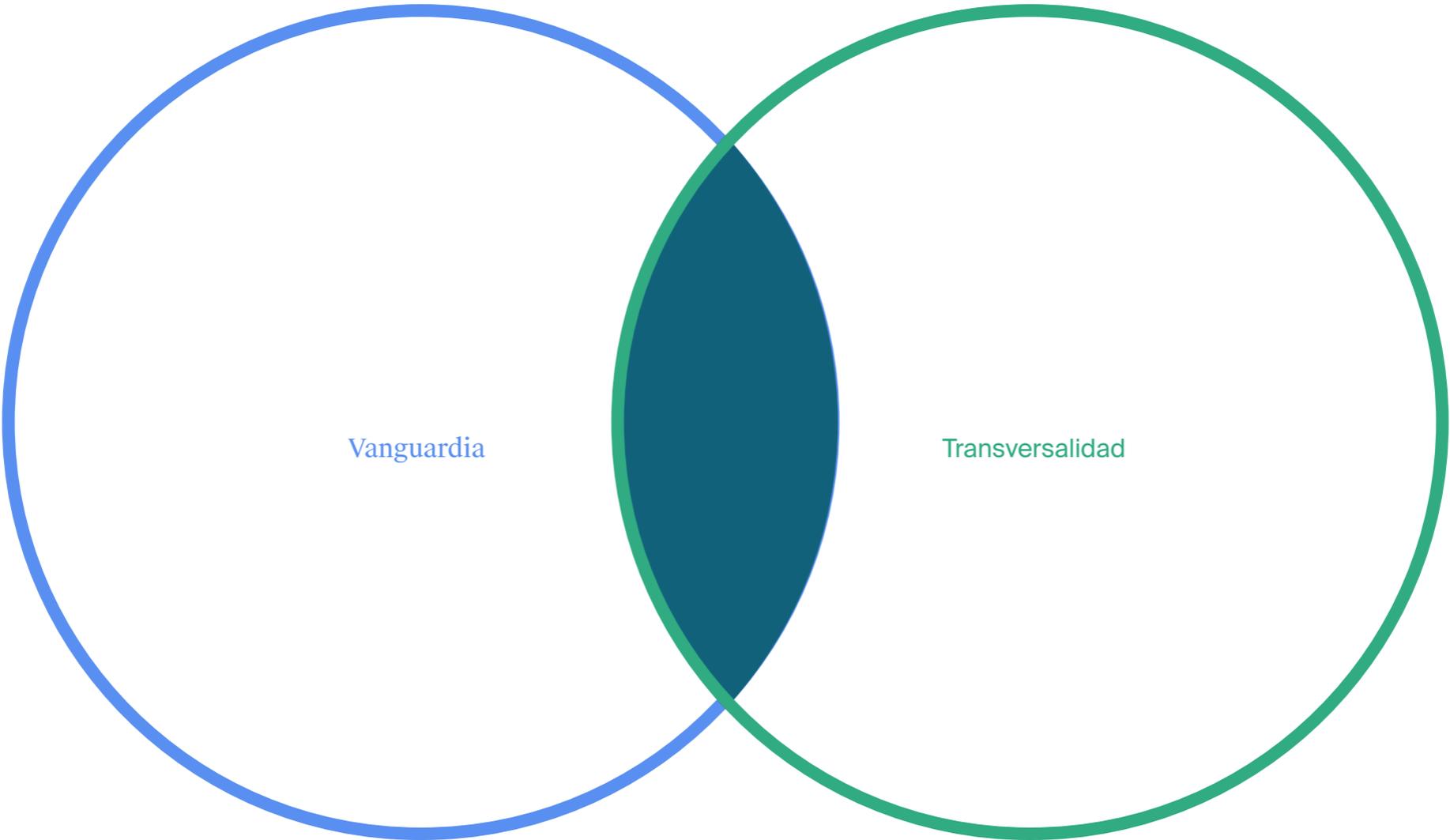
nando la mayoría de ellas para quedarnos en aquellas que, en opinión de nuestros expertos, son las que tienen la mayor capacidad de mejorar la competitividad de nuestra economía. Quiero aprovechar estas líneas para agradecerles su generosidad, visión y capacidad de llegar a un acuerdo que no es sencillo. Pero nada de esto sería posible sin el equipo de la cátedra, Jordi Sánchez Navas, Eugenio Mallol y Fernando Gomollón Bel. Ellos traducen las tecnologías en oportunidades, las explican de forma que cualquier persona las pueda entender y las conectan con la realidad económica y social de nuestro país. Parte de ese esfuerzo de traducción y visualización lo lleva a cabo Germinal, una de las empresas líderes en diseño gráfico de nuestro país que es la responsable de la belleza y efectividad de esta obra. Con el objetivo de resumir en una sola hoja, tanto como sea posible, las principales ideas de esta obra, hemos realizado una hoja de ruta en la que cada una de las tecnologías aparece disecionada en función de su capacidad de contribuir a diez parámetros que hemos identificado como fundamentales y que son: empleo, sostenibilidad, competitividad, digitalización, diversificación, calidad de vida, salud, resiliencia, ODS y descarbonización.

Este es el tercer año que llevamos a cabo este informe, que se va consolidando como uno de los referentes en prospectiva tecnológica de nuestro país. Para mí es un lujo poder aprender de este grupo de

expertos y coordinar a este grupo de profesionales. Hemos trabajamos durante todo un año para poner en tus manos una obra necesaria y llena de esperanza en un futuro mejor que podemos construir con inteligencia, pero sobre todo con un plan que nos ayude a movernos de las palabras a las acciones. Por eso, cada año, este informe lo presentamos en los foros y a las personas que pueden hacer realidad sus recomendaciones. Te invito a que lo leas con detalle, pero sobre todo a que imagines de qué forma puedes ponerlo en práctica en tu empresa u organización. No dudes en contactar con nosotros a través de la página web de la cátedra, tanto para contarnos si te ha servido como para indicarnos en qué debemos mejorar. La información, sugerencias y críticas que recibimos de nuestros lectores nos ayudan a mejorar este informe año tras año. Espero que disfrutes con la lectura de esta obra lo mismo que nosotros en su diseño, escritura y elaboración.

00.  
Análisis y  
hoja de ruta

LA VANGUARDIA  
TRANSVERSAL



## Escenario

En ningún momento como el actual la tecnología ha adquirido un papel más cercano al de la herramienta, frente al valor superior, más estratégico e intangible, de la innovación. La clave es la incertidumbre como estado natural y el tránsito del paradigma de la complicación al de la complejidad, del modelo lineal de solución de problemas a otro basado en ecosistemas de conocimiento. La Torre de Babel en la que creíamos habernos instalado, con un lenguaje único y una capacidad de visión compartida, se ha desplomado y el espejo de cristal en el que nos reflejábamos como sociedad se ha roto en mil pedazos<sup>1</sup>. Después de la traumática convulsión del mercado a raíz de la pandemia, de las heridas abiertas por las tensiones geopolíticas y del desacoplamiento de la cadena de suministro, que ha pasado de regirse por el principio del coste a hacerlo por el principio de seguridad, el concepto de glocalización, que permanecía agazapado, se impone como el nuevo marco de referencia. Forzará a una adaptación a todos los actores que compiten en la carrera por la aplicación del conocimiento de vanguardia, ya sean empresas, instituciones, organizaciones sociales e individuos. Implica dotarse de una forma de pensar global para actuar más cerca del mercado.

El nuevo escenario agrava, por eso, algunos aspectos de la configuración territorial y económica de nuestro país que permanecen prácticamente inalterados desde el inicio de siglo. Hasta ahora no parecían obstáculos que nos impidieran avanzar, pero con el cambio de circunstancias, su sola existencia supone un lastre agotador, peligroso. El Índice de Complejidad Económica (ECI) que elabora el Growth Lab de la Universidad de Harvard sitúa a España en el puesto 32 del mundo, ocho posiciones peor que una década antes y ciertamente por debajo de la posición que le correspondería por nivel de renta. Los expertos de Harvard atribuyen ese empeoramiento de la complejidad de nuestra economía a la falta de diversificación de las exportaciones e insta en el futuro a diversificar la producción de su tejido empresarial utilizando el conocimiento existente. Sin una reacción inmediata, las proyecciones para 2029 prevén un crecimiento en España del 2,8% anual del ECI durante la próxima

década, de ser así seguirá ubicándose en la mitad inferior de los países a nivel mundial<sup>2</sup>.

Frente a la visión de una competencia global basada en ecosistemas, reticular y no lineal, el desequilibrio en las políticas de fomento de la economía del conocimiento en España en favor de los incentivos a la investigación y no a la innovación, unido a las deficiencias en gobernanza, han dibujado un mapa con marcadas desigualdades regionales que dificulta las sinergias y la suma de capacidades, la configuración de un ecosistema-país con visión glocal. Una parte sustancial de nuestras comunidades autónomas se encuentran inmersas en lo que los especialistas describen como “trampa del desarrollo”. Tras alcanzar un nivel de PIB per cápita del 75-100% de la media de la UE en la década de los 2000, sus economías se han estancado y, como si de arenas movedizas se tratara, la subida de categoría se vuelve cada vez más complicada. La trampa de desarrollo se produce cuando en una región los costes tienden a ser demasiado altos para competir con los territorios menos desarrollados y sus sistemas de innovación no son lo suficientemente fuertes como para competir con los más avanzados. Muchas regiones con un PIB per cápita inferior al 75% de la media de la UE en 2000, en especial las del Este de Europa, están aprovechando las circunstancias y han experimentado un fuerte crecimiento durante los últimos 19 años. Pero más llamativo resulta que son numerosos los casos de regiones más avanzadas que también han ampliado la distancia hacia arriba.

### *Una de las tecnologías más atractivas es la fotosíntesis artificial*

Las regiones de la UE estancadas en una trampa de desarrollo tienden a tener una menor participación de la industria en la producción total, cuentan con menos trabajadores con educación universitaria y registran niveles más bajos de apoyo a la ciencia y la tecnología. Suelen tener también una peor calidad de gobierno local y, por lo tanto, un entorno institucional más desfavorable, baja eficiencia gubernamental, falta de transparencia y rendición de cuentas, y más corrupción. Para volver a una senda de crecimiento a largo plazo hacen falta reformas del

sector público, una fuerza laboral mejor cualificada y una mayor capacidad para innovar<sup>3</sup>.

Destruída la Torre de Babel en los años que siguieron a la crisis de 2008, la confusión se ha adueñado de los países con menos nivel de vertebración y aplicación del conocimiento. Otra de las manifestaciones de este fenómeno en Europa ha sido el crecimiento, entre 2001 y 2019, del PIB real per cápita a mayor ritmo en las regiones metropolitanas que en otras regiones de la UE. Los fondos para financiar la cohesión han hecho un esfuerzo por resolver esta brecha: pasaron de suponer el equivalente al 34% de la inversión pública total en el período de programación 2007-2013 al 52% en el período 2014-2020. Sin ella, la reducción de la inversión pública habría sido aún mayor en estos países. Sin embargo, siguen existiendo diferencias y muchos motores del crecimiento se concentran cada vez más en las regiones más desarrolladas y en las zonas urbanas. El resultado es que la brecha regional en materia de innovación en Europa, y especialmente en España, ha aumentado, lo que demuestra que el problema no se limita a la falta de inversión en I+D, sino también a deficiencias en los ecosistemas regionales de innovación. A pesar de una inversión extranjera directa (IED) y al buen comportamiento de sus exportaciones, muchas regiones no consiguen aprovechar los beneficios para las empresas y trabajadores locales. En un momento en el que el desafío de la incertidumbre exige mayores niveles de conectividad, pensar en global para actuar en local, nuestro entorno productivo e institucional manifiesta una dispersión cada vez mayor de actores.

Esta desigualdad en el desarrollo tiene su reflejo en el crecimiento económico y en la productividad. País Vasco (un 16,7% por encima de la media), Comunidad de Madrid (13,3%), Comunidad Foral de Navarra (8,3%) y Cataluña (2,0%), son las únicas comunidades autónomas españolas con niveles de productividad superiores al promedio de la UE-27. La distancia entre la primera de ellas y la menos productiva de nuestro país, la Región de Murcia, es de 1,5 veces. Para medir cómo se traduce eso en desigualdad se suele utilizar la ratio S80/S20, que cuantifica la relación entre la renta media obtenida por el 20% de la población con la renta más alta, respecto a la renta media obtenida por el 20% de la población con la renta más baja. En 2020, esta ratio fue superior en España frente a la UE-28 en un 16%, y entre regiones la del Principado de Asturias fue 1,6 veces más alta que la de la Comunidad Foral de Navarra<sup>4</sup>.





## *Transición ecológica y digital*

Durante las próximas tres décadas, el crecimiento de la UE vendrá condicionado por las transiciones ecológica y digital. Por la batalla para conquistar la descarbonización, la electrificación basada en fuentes de energías limpias y la consolidación de la economía circular, por un lado; y por la cada vez mayor presencia de la automatización inteligente, tanto en el ámbito del software como en el del hardware, en una dinámica que acabará elevándose desde los procesos más simples, ya sea la medicina de precisión o el transporte de última milla, hasta la automatización de ecosistemas enteros, el del hogar o el de los desplazamientos por carretera, por ejemplo. Su fuerza transformadora alumbrará nuevas oportunidades para el desarrollo, pero para aprovecharlas se requerirán importantes cambios estructurales.

### *La captación, protección y formación del talento está en el centro de todos los desafíos*

El reto es que las medidas que se adopten no agraven las disparidades regionales heredadas de nuestra incapacidad para responder al cambio de paradigma que produjo el estallido de la revolución tecnológica desde finales de los 90 del pasado siglo. Porque junto a los desafíos cuya resolución está más cercana a la esfera económica, hay otros que pueden socavar tanto la cohesión como el crecimiento, y cuyo alcance es aún más amplio que el de aquellos, porque su naturaleza es social. La transición demográfica podría citarse como el principal. La sociedad debe sentirse protagonista y beneficiaria de la gestión de estas tres transiciones, de forma que se refuercen sus vínculos con las instituciones políticas, con las empresas,

con el mundo del conocimiento y con la ciencia, y también los lazos que unen a sus miembros entre sí, frente a las amenazas de polarización y de descrédito de la democracia que se han desencadenado como efecto colateral del desplome de la Torre de Babel. En ese sentido, la captación, protección y formación del talento está en el centro de todos los desafíos a los que nos enfrentamos y eso implica directamente concebir sociedades conectadas, capaces de afrontar la incertidumbre que no cesa desde una perspectiva ecosistémica.

## Tecnología 'human by design'

El imperativo 'security by design' (seguridad mediante el diseño) en el que tanto se lleva insistiendo desde el ámbito de la ciberseguridad para minimizar las vulnerabilidades del software y de los dispositivos físicos -sin la deseable receptividad por parte de las empresas y la Administración-, cobra nueva relevancia en un tiempo de inestabilidad geopolítica dominado por la inteligencia y la gestión de datos. La nueva regulación europea de manos de la Directiva NIS 2.0 incide en la protección de las infraestructuras críticas, pero no es el único punto en el que se necesitará poner un mayor foco a medio y largo plazo en este campo. La automatización inteligente, basada en dispositivos autónomos y en robótica de nueva generación, con ramificaciones en el ámbito de la informática de consumo, a través de las tecnologías de realidad aumentada y virtual, así como en la salud, la economía circular, la movilidad inteligente o la agricultura, abre una nueva era en el internet de las cosas. Superadas las etapas tecnológicas previas de sensorización y monitorización, primero, y de optimización de procesos mediante la gestión de los datos obtenidos, a continuación, nos adentramos en una nueva en la que se pone en valor un internet de las cosas capaz de adaptarse al entorno en tiempo real y de condicionar las relaciones de las empresas con otros actores, desde la Administración hasta las aseguradoras y la banca u otros eslabones de la cadena de suministro. El nuevo internet de las cosas 3.0 se dirige a garantizar la fiabilidad del dato, el imperativo de esta nueva época, sin la que pierden sentido también todos los desarrollos basados en blockchain. Un mundo más conectado, con cada vez más dispositivos autónomos, sólo será viable desde la garantía de la ciberseguridad.

Y de igual forma que se reclama esa seguridad pensada desde el diseño, para no desvirtuar el potencial de la unión de conectividad e inteligencia, la sociedad va a exigir que

## *En la vanguardia tecnológica se percibe la tensión entre el beneficio a las personas y lo viable (rentabilidad, acceso a la financiación)*

el nuevo ciclo tecnológico que ahora se abre, que cambiará por completo sectores económicos y formas de cohesión social, sea 'human by design' (humano por diseño). En el presente informe ponemos de manifiesto algunos ámbitos de la vanguardia tecnológica en los que se percibe esa tensión entre lo posible, en beneficio de las personas, y lo viable desde el punto de vista de la rentabilidad y el acceso a la financiación. Sucede en el caso de la amenaza creciente de las bacterias resistentes a los antibióticos. Las compañías que quieren innovar en tratamientos tienen que superar todavía a un complejo Valle de la Muerte porque el coste total de desarrollar un antibiótico con diez años en el mercado se estima en 1.700 millones de dólares, pero no resulta fácil obtener ingresos para recuperar la inversión durante la primera década de vida del nuevo tratamiento<sup>5</sup>. Una parte sustancial de la innovación debería consistir en encontrar fórmulas adecuadas para financiar esa I+D que impida que el número anual de muertes alcance los 10 millones en 2050, como apuntan las estimaciones actuales<sup>6</sup>, con especial incidencia en países de ingresos medios y bajos.

La visión 'human by design' debería facilitar asimismo el despegue de las terapias teragnósticas, en las que se combinan las actividades de diagnóstico y detección con el tratamiento de enfermedades tan graves como el cáncer. En el ámbito de la nanotecnología aplicada a la salud, muchas empresas farmacéuticas se enfrentan a altas presiones financieras debido a la expiración de sus patentes sobre fármacos de éxito y a la mayor competencia por sus genéricos, lo que podría provocar una caída sustancial de sus ingresos y un aumento de las inversiones asociadas a productos innovadores<sup>7</sup>. Sin embargo, las terapias teragnósticas se ven ralentizadas en ocasiones porque no resulta fácil determinar la norma aplicable cuando su principal modo de acción no es obvio, o cuando intervienen dos o más componentes regulados bajo varios marcos normativos. También por la escasez internacional de equipos de profesionales médicos, en especial, radioteragnósticos con experiencia



adicional en el campo de la radiofarmacia, interdisciplinarios, capaces de trabajar con protocolos estandarizados y eficientes como los que rigen el uso de sustancias radiactivas. De ahí que se pida una gobernanza armonizada que garantice un acceso rápido a soluciones terapéuticas.

Fuera del ámbito de la salud, todas las posibilidades que abre la perspectiva de un Metaverso tecnológico, sobre el nuevo paradigma de la Web 3.0, con impacto en sectores como el ocio, las redes sociales, las finanzas, el inmobiliario o la formación, también deben estar sometidas al imperativo 'human by design'. Se debe garantizar que no agraven todavía más la percepción caótica de la caída de la Torre de Babel. En su dimensión comercial y minorista, la sociedad digital se alimenta y gira en buena medida en torno a la monetización de la información que se obtiene del usuario. El intercambio de datos y de privacidad a cambio del acceso a nuevos medios digitales de socialización, proyecta desafíos enormes y puede contaminarse, sin un diseño adecuado, si se aleja de los mandatos asociados al principio "conoce a tu cliente", know your customer (KYC), que rigen en la relación de las personas con las empresas de determinados sectores económicos y con la Administración. Los consumidores necesitan transparencia sobre qué datos entregarán libremente para estas nuevas tecnologías, para poder tomar decisiones informadas, pero también el respaldo de medios fiables de verificación de la identidad digital que le permitan saber con quién están interactuando. Una investigación de la Universidad de Harvard muestra que después de solo 5 minutos de juego en un dispositivo de realidad virtual se puede identificar perfectamente a una persona a través de la sutileza de sus movimientos corporales y un estudio de The Extended Mind sobre las experiencias de las mujeres en la realidad virtual social reveló que el 49% de ellas había experimentado al menos un incidente de acoso. El Metaverso conecta, además, con otros ámbitos prometedores de la revolución tecnológica como el gemelo virtual o las monedas digitales, y con sistemas de gestión descentralizada de información como el blockchain, lo que contribuirá a aumentar la complejidad del requisito de 'human by design'.

La gestión del talento es uno de los principales afluentes de esta fenomenal corriente transformadora. La tendencia que se observaba en el informe INTEC 2021, como

## *El Metaverso conecta con el gemelo virtual, las monedas digitales y el blockchain*

consecuencia del auge del teletrabajo durante la pandemia, y cuya principal manifestación era la ruptura de los esquemas conocidos de relación personas-espacios-procesos ha evolucionado hacia un mundo en el que los espacios físicos han dejado de ser la referencia para organizar de forma inteligente los puestos de trabajo; esa tarea se centraliza cada vez más en aplicaciones que controlan desde los aforos a la calidad del aire, el parking o la gestión energética. El área de recursos humanos deja paso la de personas y trabaja de la mano de los responsables de gestión de espacio e infraestructura. La sofisticación de las soluciones para la relación virtual extenderá este modelo más allá del ámbito de las compañías privadas a cualquier espacio de gestión del conocimiento, el talento se deslocaliza a un ritmo vertiginoso.

Por último, el imperativo de 'human by design' debe estar presente en la nueva robótica colaborativa, concebida en muchos casos a escala nano y orquestada cada vez más en soluciones de internet of robotic things (IORT), y en los desarrollos de robótica blanda. En ambos casos se abren crecientes campos de necesidad, ya sea por el envejecimiento de la población o por los avances en medicina de precisión, y todavía hay que despejar obstáculos regulatorios, promover las herramientas que favorezcan la relación con las máquinas de un abanico mayor de usuarios, añadir inteligencia y funcionalidad a los materiales y seguir caminando hacia la robótica de bajo coste.

## El andamiaje de la sostenibilidad

Los objetivos de reciclaje, descarbonización, electrificación de la economía con fuentes renovables y economía circular se han convertido en grandes movilizadores de la innovación tecnológica en todos los ámbitos y en todos los sectores. Desde el internet de las cosas a la movilidad inteligente, desde la agricultura hasta la industria, desde el comercio minorista (retail) al turismo, una parte sustancial de los esfuerzos de transformación van en la línea de aprovechar las oportunidades que abre la digitalización de forma medioambientalmente sostenible, pero sin comprometer la viabilidad económica y el déficit público. El trabajo realizado por la Dirección General de Estabilidad Financiera, Servicios Financieros y Unión de los Mercados de Capitales de la Comisión Europea (DG FISMA) para establecer la taxonomía de las finanzas sostenibles, es decir, para definir qué requisitos debe reunir un proyecto para considerarse 'verde' a efectos de posible financiación o aseguramiento, pone de manifiesto hasta qué punto se convertirá en un componente esencial para las empresas en el futuro.

De ahí la importancia de implicar a las matemáticas en el modelado prospectivo de las decisiones políticas y empresariales relacionadas con la sostenibilidad. Las inundaciones fluviales son el riesgo climático generalizado más relevante desde el punto de vista económico en la UE durante las próximas dos décadas, según un análisis sobre los factores de riesgo físico llevado a cabo en 1,5 millones de empresas de la zona del euro que advierte de que hasta al 30% de las exposiciones corporativas bancarias pueden verse afectadas por la incapacidad para predecir fenómenos vinculados al clima y al medio ambiente. El sector asegurador no amortiguaría una crisis sistémica de esa naturaleza porque solo el 35% de las pérdidas climáticas económicamente relevantes de media están actualmente aseguradas en la UE<sup>9</sup>. El reto es, de nuevo, asegurar mediante

la tecnología que los datos son fiables y consiguen monitorizar adecuadamente el planeta en tiempo real, también desde el espacio, y a continuación utilizar herramientas de supercomputación aplicando matemáticas y algoritmos de última generación para tomar las decisiones más precisas.

### *Las matemáticas serán decisivas en el modelado prospectivo de las decisiones políticas y empresariales de la sostenibilidad*

En la batalla contra el CO<sub>2</sub>, uno de los problemas de raíz es que utilizamos un sistema energético articulado sobre unas infraestructuras que tardaron más de un siglo en adoptar su forma actual, pero la transición energética requiere construir otra de nuevo con redistribuciones geográficas radicalmente diferentes de sus elementos. Porque el suministro de energía fósil predominante no ha requerido hasta ahora ni de tecnologías de almacenamiento ni de procesos químicos para descomponer la molécula de agua y activar el CO<sub>2</sub> a gran escala. En paralelo a ese monumental trabajo hay que promover la implantación de tecnologías que incrementen las posibilidades de mineralizar y transformar el CO<sub>2</sub> en otros compuestos de más valor añadido como plásticos, combustibles o material de construcción. La financiación disponible en todas las fases de desarrollo aún es inadecuada o no está suficientemente enfocada.

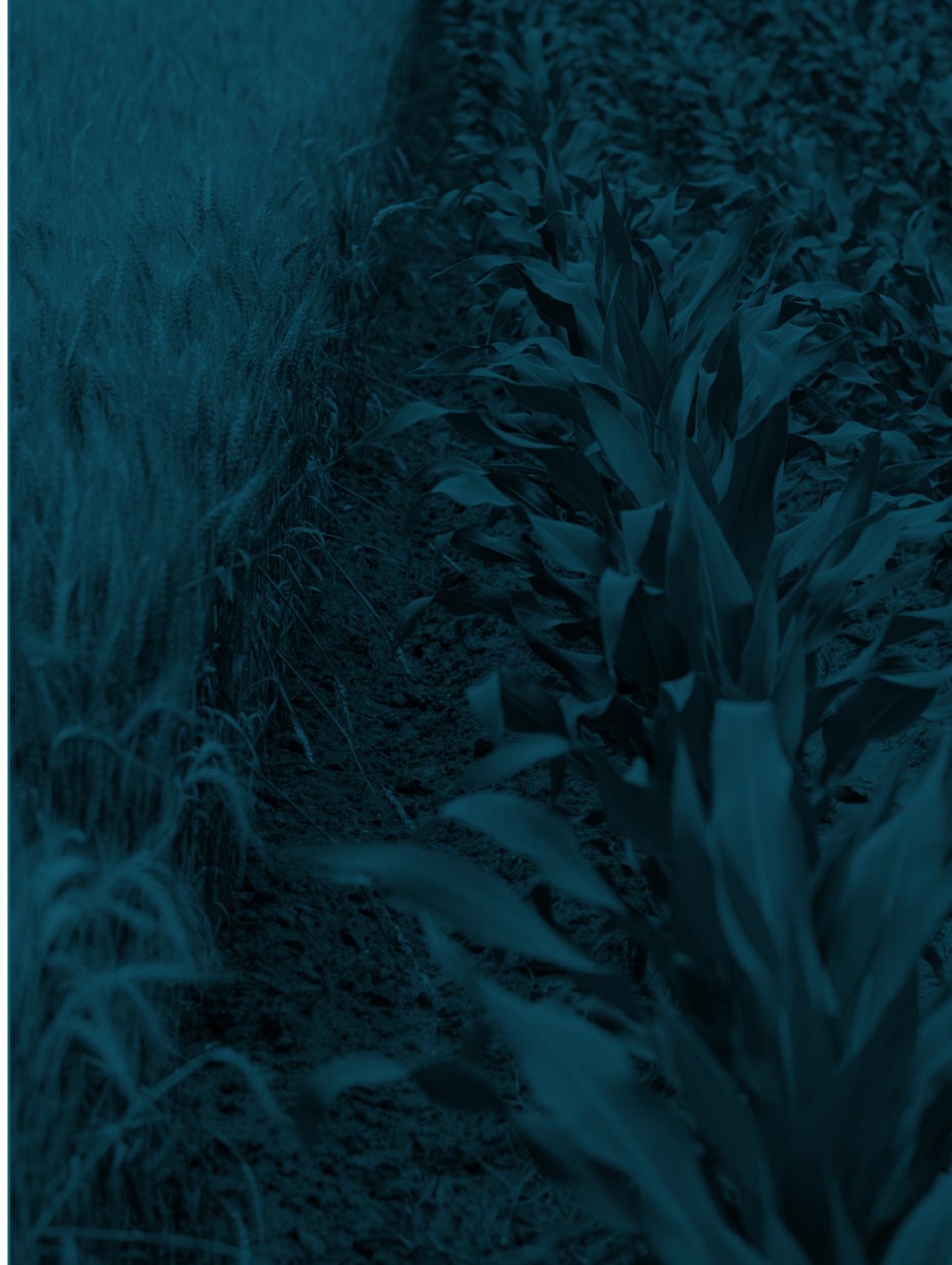
Resolver el reto de la alimentación mundial sin comprometer la sostenibilidad obligará también a intensificar la innovación en el ámbito de los fertilizantes, para hacerlos más inteligentes y menos dañinos para el medio. En el futuro, la energía debe orientarse a consolidar a esa nueva generación de nutrientes como una alternativa real y atractiva, para lo cual debe resolver las dificultades tecnológicas para liberar exactamente la cantidad que requieren las necesidades puntuales de cada cultivo, para reducir la diferencia de coste por unidad de nitrógeno en comparación con los fertilizantes convencionales y para minimizar el riesgo de acumulación de residuos en el suelo derivado de su uso. En cultivos de alto valor añadido, los fertilizantes inteligentes ya son rentables y su coste ha disminuido gracias a

la mayor capacidad de producción de urea recubierta de azufre (SCU) en China y al desarrollo de nuevos fertilizantes de urea revestida por polímeros (PCU) en EEUU.

## *En cultivos de alto valor añadido, los fertilizantes inteligentes ya son rentables*

Algo similar sucede en el caso de la sustitución de materias primas escasas o de difícil acceso por motivos geoestratégicos, pero fundamentales para la producción de los componentes de la economía digital y electrificada, por otros elementos abundantes. Es una de las más fenomenales tendencias de innovación en la actualidad ya que la sostenibilidad está directamente comprometida en ello. De hecho, en 40 tecnologías ambientales, 38 materiales escasos podrían desempeñar un papel clave en un escenario de economía verde hasta 2050<sup>10</sup>. Las opciones de sustitución más relevantes se sitúan en la mayoría de los casos en fases de desarrollo iniciales, y no resultarán viables hasta que se produzcan avances importantes y casos de uso justificados. De ahí que muchos de los esfuerzos en investigación se centren en el reciclado de componentes que contienen las materias primas de mayor interés. Menos del 1% de las materias primas escasas se reintroducen en el sector productivo y pese a que los residuos de los aparatos eléctricos y electrónicos aumentan a un ritmo del 2% anual en Europa, menos del 40% de ellos se reciclan<sup>12</sup>.

El desafío tecnológico de definir cómo será la nueva arquitectura del crecimiento económico medioambientalmente sostenible se completa con la movilidad inteligente. Su impacto va más allá de la electrificación y conectividad de vehículos con un grado creciente de autonomía, y el desarrollo de toda una industria de nuevos servicios asociada a ello. Alcanza otros ámbitos más próximos a la cohesión social como los relacionados con la implicación del urbanismo en la lucha contra la desigualdad y la democratización del acceso a servicios básicos y financieros en todas las áreas de las grandes ciudades y en los entornos rurales. También incidirá en la reconfiguración de la cadena de suministro global, que evoluciona hacia una estructura reticular y empujará a muchos sectores a adentrarse en fórmulas de fabricación distribuida, cada vez más próxima al usuario final y personalizable gracias a las tecnologías digitales.



## *España y conclusión*

Como se pone de manifiesto en el presente informe, en buena parte de los grandes desafíos tecnológicos el conocimiento de excelencia existe en nuestro país, y las herramientas tecnológicas y la energía emprendedora, aunque en diferentes niveles de desarrollo, también han germinado en nuestras instituciones de investigación y en el tejido empresarial. Pero como se desprende asimismo de los indicadores sobre desarrollo regional y evolución de la economía del conocimiento en España, falta una visión orquestada del ecosistema de innovación y una gobernanza que se aplique en la promoción de nuestras ventajas competitivas y que fomente la conexión entre sistemas de conocimiento. Por supuesto, entre el ámbito científico y entre el sector privado que debe identificar las oportunidades y apostar por ello. Esa gobernanza debe impulsar también un *aggiornamento* del entorno regulatorio, para que no se convierta en el lastre que frena la innovación en ámbitos que, en paradójica circunstancia, están directamente vinculados con los Objetivos de Desarrollo Sostenible que con tanto compromiso se promueven desde la propia Administración.

El sector turístico es uno de los pocos ejemplos de actuación coordinada en el desarrollo tecnológico que además es un área de actividad clave para nuestro país. No obstante, se enfrenta al desafío de incorporarse a la industria hotelera 4.0<sup>13</sup>, un turismo de las cosas que aplica inteligencia a los sistemas físicos y fomenta la automatización de un número creciente de procesos de relación con los usuarios finales, cuyo objetivo es dejar atrás el turismo de masas y ofrecer experiencias a medida que avanza en paralelo hacia su transición para generar una experiencia viajera cada vez más sostenible. Sin sistemas interoperables e interconectados de compartición de datos, a través de plataformas digitales, se corre el riesgo de generar una brecha tecnológica entre las pymes y las grandes empresas turísticas, entre los nuevos actores y la parte más tradicional del sector. La llamada a la reacción alcanza a todos los sectores.

## *No podemos ser un país que fíe su desarrollo tecnológico a ciclos de fuertes esfuerzos de inversión pública como el Plan de Recuperación, Resiliencia y Transformación Digital*

Durante unos años, España va a recibir una importante suma de fondos europeos que le permitirán apostar por proyectos estratégicos, pero da la impresión de que ese dinero está poniendo en evidencia la realidad de nuestro ecosistema de innovación: la mayoría de las propuestas que se manejan en áreas tecnológicas como el hidrógeno, la microelectrónica, las energías verdes, las nuevas baterías para vehículos eléctricos o la conectividad encontrarán en nuestro país el humus de conocimiento necesario para desplegarse. Tanto en lo referente a instalaciones de experimentación como, sobre todo, en la parte más delicada de todo el proceso, la captación de talento. Sin embargo, es natural pensar también que sin esos fondos muchas oportunidades de inversión se habrían dirigido hacia otros países o no habrían logrado arraigar en el seno de nuestro tejido productivo. Las dudas acerca de la capacidad de este programa de ayudas para fomentar la coordinación y la conectividad entre nuestros sistemas de innovación y entre ellos y los de otros países, resultan también razonables. No podemos ser un país que fíe su desarrollo tecnológico a ciclos de fuertes esfuerzos de inversión pública como el Plan de Recuperación, Resiliencia y Transformación Digital, porque llegarán y, si no se articula un modelo viable de integración de conocimiento de calidad en la economía, si no se absorben y contextualizan desde una visión estratégica a largo plazo, desaparecerán como una ola que estalla contra el acantilado. Lo único que quedará será conocimiento generado en otras partes del mundo y gestionado desde centros de decisión con sede fuera de España, alojado cómodamente en nuestro suelo y cultivado por nuestros mejores cerebros. España tiene que hablar con voz propia.

1. Jonathan Haidt, **“Why the Past 10 Years of American Life Have Been Uniquely Stupid”**, The Atlantic, 11 de Abril de 2022
2. <https://atlas.cid.harvard.edu/countries/71>
3. **“La cohesión en Europa en el horizonte de 2050”**, Comisión Europea, manuscrito finalizado en diciembre de 2021, publicado en 2022
4. **“Informe de Competitividad Regional en España 2021”**, Colegio General de Economistas, Diciembre de 2021
5. Royal Society y Academy of Medical Science, **“Advances in antimicrobial Innovation. Conference report”**, 5 julio de 2021, consultado el 28 de enero de 2022
6. AMR Industry Alliance, **“2020 Progress Report”**, enero de 2020
7. Sultan Alshehri et al **“Progress of Cancer Nanotechnology as Diagnostics, Therapeutics, and Theranostics Nanomedicine: Preclinical Promise and Translational Challenges”** Pharmaceutics, 24 de Diciembre de 2020 <https://dx.doi.org/10.3390/pharmaceutics13010024> Consultado el 12 de Marzo de 2022
8. Brittan Heller, **“Reimagining Reality: Human Rights and Immersive Technology”**, Harvard Kennedy School, Harvard University, 12 de Junio de 2020
9. **“Climate-related risk and financial stability”**, Banco Central Europeo, Julio de 2021
10. Matthias Buchert et al. **“Substitution as a Strategy for Reducing the Criticality of Raw Materials for Environmental Technologies”**, German Environment Agency, Enero de 2019
11. A. Bartl et al. **Detritus** <https://doi.org/10.31025/2611-4135/2018.13697> Enero de 2018
12. Comisión Europea, **“Nuevo Plan de acción para la economía circular por una Europa más limpia y más competitiva”**, 11 de Marzo de 2020
13. Zeqiri, A. ; Dahmani, M. ; Ben Youssef, A. **“Digitalization of the tourism industry: What are the impacts of the new wave of technologies”**, Balkan economic review, 2020

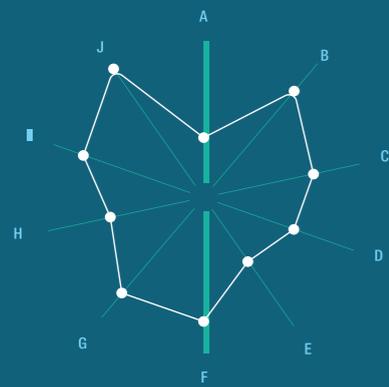
Fuente: Elaboración propia.

**HOJA DE RUTA**

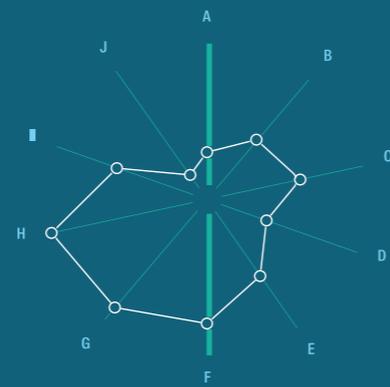
CADA TECNOLOGÍA CONSTRUYE UN DIAGRAMA PARA EVALUAR LA INCIDENCIA SOBRE DIEZ VECTORES CLAVE, QUE REPRESENTAN RETOS Y, A LA VEZ, OPORTUNIDADES. UN DECÁLOGO DE EJES QUE SUSTENTAN LA ECONOMÍA DEL CONOCIMIENTO, DECISIVA PARA EL FUTURO.

- A EMPLEO    B SOSTENIBILIDAD    C COMPETITIVIDAD    D DIGITALIZACION    E DIVERSIFICACIÓN
- F CALIDAD DE VIDA    G SALUD    H RESILENCIA    I ODS    J DESCARBONIZACION

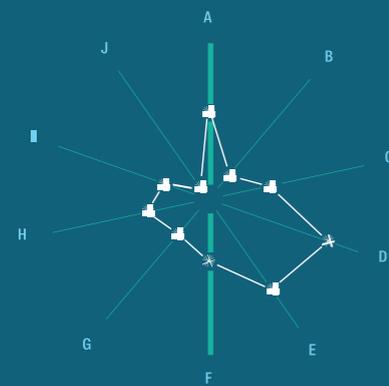
**REVALORIZACIÓN DE CO2**



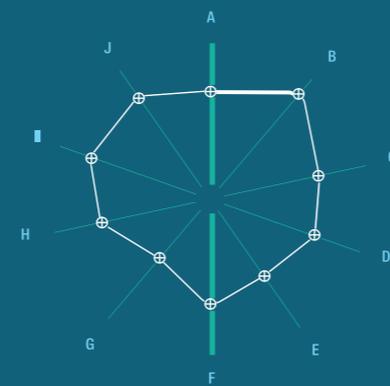
**TECNOLOGÍAS PARA DETECCIÓN DE BACTERIAS RESISTENTES**



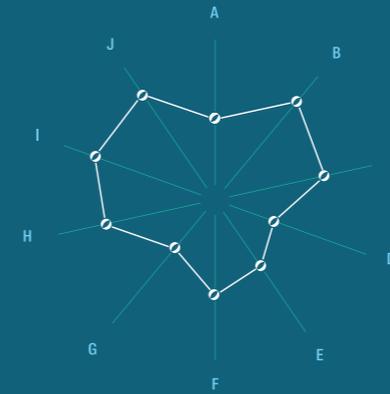
**METAVERSO**



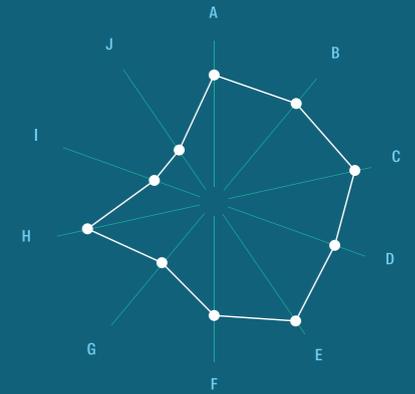
**FERTILIZANTES INTELIGENTES**



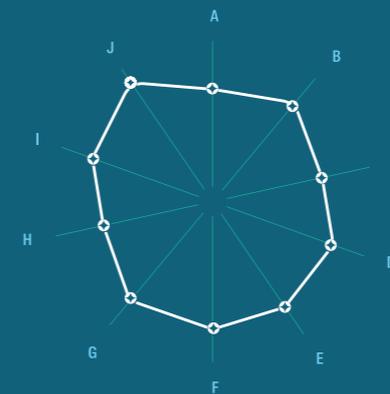
**TERANÓSTICOS**



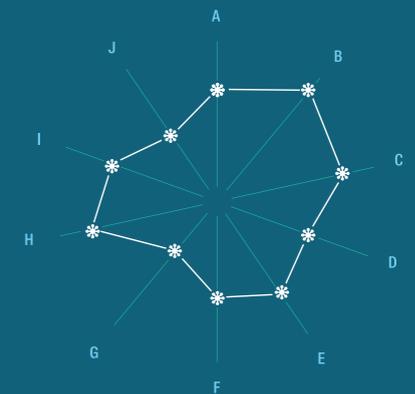
**TURISMO DE LAS COSAS**



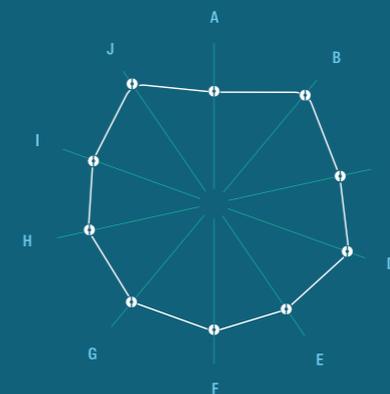
**MOVILIDAD INTELIGENTE**



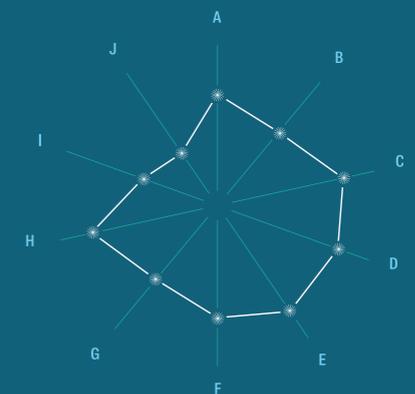
**ELEMENTOS CRÍTICOS**



**MATEMÁTICAS Y SOSTENIBILIDAD**



**ROBÓTICA**

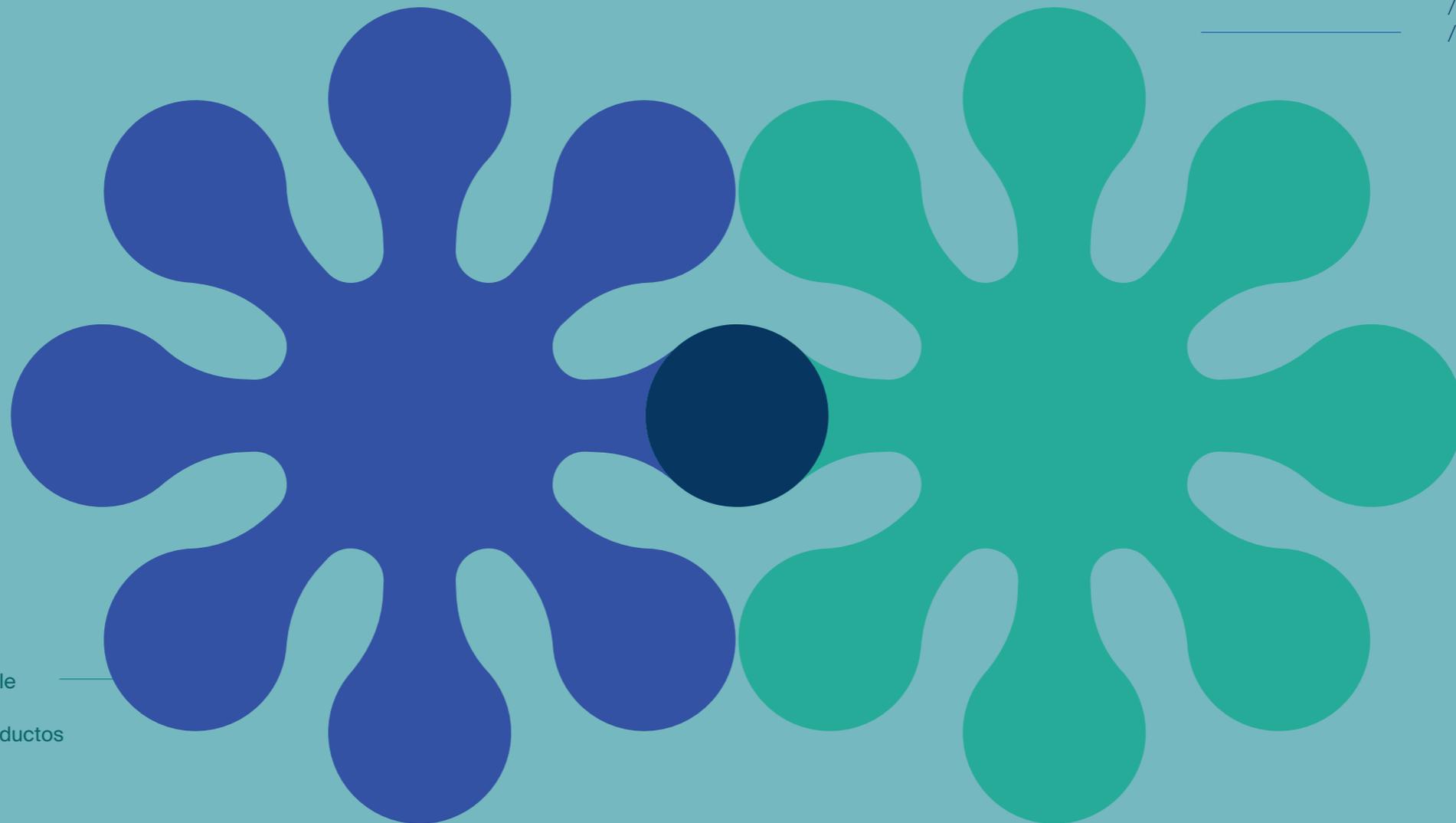


# 01. Captura y valorización del CO<sub>2</sub>

Hacia una economía circular:  
El dióxido de carbono como  
materia prima.

/ Eliminación de residuos CO<sub>2</sub>  
/ Reducción efecto invernadero

/ Fuente de carbono renovable  
/ Fabricación combustibles  
/ Construcción plásticos, productos  
químicos y farmacéuticos





## En clave

El dióxido de carbono (CO<sub>2</sub>) es uno de los principales causantes de la crisis climática. Sin embargo, nuevos avances en catálisis y nuevos materiales nos permiten convertir este gas en una solución, en una valiosa materia prima para la preparación de productos químicos de alto valor añadido. Durante siglos, el CO<sub>2</sub> ha sido un residuo. Ahora, los científicos ven este compuesto una fuente de carbono renovable, una apuesta segura para un futuro y una economía sostenibles.



## La tecnología

### Hacia una economía circular: el dióxido de carbono como materia prima

El carbono es el ingrediente fundamental de la vida. Los azúcares, las proteínas, las grasas, incluso el ADN que codifica nuestro código genético; en moléculas con un esqueleto de átomos de carbono ordenados de diversas maneras. Este elemento también es el principal combustible que alimentó la revolución industrial. A finales del siglo XVIII comenzó la mayor transformación tecnológica desde el Neolítico, Las máquinas de vapor que impulsaron este cambio radical en nuestra forma de producir utilizaban grandes cantidades de carbón<sup>1</sup>. Más adelante, descubrimos otros combustibles más convenientes, como el petróleo y el gas natural, que alimentaron la segunda revolución industrial y que, desde entonces, son nuestra principal fuente de energía.

Distraídos por las mejoras en productividad, los seres humanos tardamos en advertirlas consecuencias de la quema indiscriminada de combustibles fósiles. Esta reacción química libera grandes cantidades de energía, pero también un producto de desecho: el dióxido de carbono, un gas que se acumula en las capas bajas de la atmósfera. En realidad, el CO<sub>2</sub>, en su justa medida, es importante y su presencia en la atmósfera es necesaria para que la temperatura de nuestro planeta sea suficientemente cálida mediante un proceso bien conocido, al que llamamos efecto invernadero, Pero los excesos provocados por actividades humanas han causado un aumento anormal en la atmósfera, lo que ha provocado un incremento notable de las temperaturas y, al mismo tiempo, una situación de emergencia climática sin precedentes. En su último informe, el Panel Intergubernamental del Cambio Climático (IPCC) advirtió que las consecuencias del cambio climático eran globales, cada vez más intensas y, en muchos casos, prácticamente irreversibles<sup>2</sup>.

### Catálisis y biocatálisis.

Muchos científicos están trabajando para transformar esta crisis en una oportunidad. Nos encontramos ante un momento crucial para nuestra sociedad; hay que rediseñar los procesos productivos para avanzar hacia una economía circular, y esto implica reimaginar al dióxido de carbono como una valiosa materia prima. Gracias a los últimos avances en química, catálisis y biocatálisis, cada vez estamos más cerca de poder utilizar el CO<sub>2</sub> como una fuente de carbono sostenible<sup>3</sup>. Para CEFIC, la mayor asociación de la industria química europea, reciclar y aprovechar el carbono del CO<sub>2</sub> y otros gases como el monóxido de carbono es una de las mayores oportunidades para reducir el impacto medioambiental y acelerar la transición hacia una economía circular<sup>4</sup>.

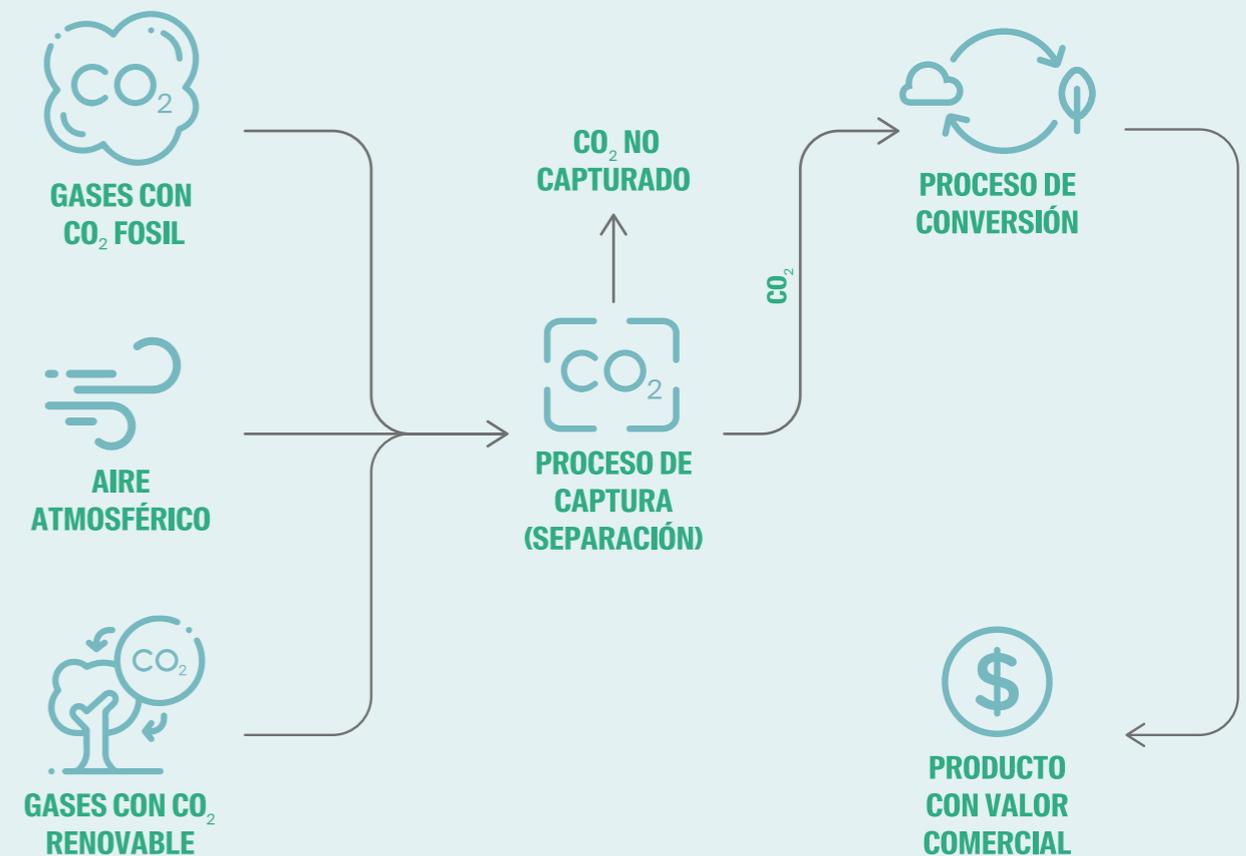
## Necesitamos mejores soluciones para capturar y almacenar dióxido de carbono

Obviamente no se trata de un objetivo fácil de alcanzar y, por lo tanto, se están desarrollando distintas tecnologías para abordar este problema de forma coordinada y complementaria. En primer lugar, se han conseguido mejoras muy notables en la captura y almacenamiento del dióxido de carbono. Éstas se dividen en dos grandes grupos: los sistemas para capturar las emisiones industriales de gases de efecto invernadero y los materiales para atrapar dióxido de carbono directamente de la atmósfera. Los primeros logran reducir las emisiones de los procesos productivos, mientras que los segundos podrían contribuir a disminuir los efectos acumulativos de la crisis climática, por medio de una reducción de las altas cantidades de CO<sub>2</sub> atmosférico. Algunos métodos incluyen la absorción mediante reacciones químicas, formando sales derivadas del dióxido de carbono como los carbonatos, destilación criogénica, y separación por medio de membranas de adsorción selectivas<sup>5</sup>. Una vez hemos logrado este objetivo y tenemos el dióxido de carbono fijado en distintas sustancias, entran en juego las reacciones químicas para transformarlo en productos de alto valor añadido, tanto combustibles como materias primas para la industria. Son precisamente estas tecnologías de utilización y valorización del dióxido de carbono las más interesantes desde el punto de vista de la investigación y el desarrollo. Hasta ahora,

Fuente: Asociación Española de Operadores de Productos Petrolíferos (AOP).

FIGURA 1.

**LA CAPTURA Y UTILIZACIÓN DE CO<sub>2</sub>.** LA CAPTURA Y USO DEL CO<sub>2</sub> (CUC) CONSISTE EN LA SEPARACIÓN DE CO<sub>2</sub> DE UNA CORRIENTE DE GASES (E INCLUSO DEL AIRE) PARA EMPLEAR EL CO<sub>2</sub> CAPTURADO EN UN PROCESO DE CONVERSIÓN QUE ORIGINE UN PRODUCTO CON VALOR COMERCIAL. ÉSTE PUEDE REEMPLAZAR A UN PRODUCTO ANÁLOGO O A OTROS CON PRESTACIONES SIMILARES FABRICADOS ACTUALMENTE A PARTIR DE CARBONO DE ORIGEN FÓSIL.



**EXCLUSIONES: EOR, REFRIGERANTE, HORTICULTURA, ALIMENTACIÓN Y MINERALIZACIÓN NO COMERCIAL**



# Retos y Oportunidades

Construcción, plásticos y productos químicos y farmacéuticos a partir de CO<sub>2</sub>

la mayor parte del CO<sub>2</sub> reciclado se utilizaba en la síntesis de fertilizantes como la urea, diferentes procesos para la industria petroquímica, refrigerantes y alimentación. Sin embargo, los avances más recientes en química y, en especial en catálisis, han creado nuevas oportunidades para el aprovechamiento del dióxido de carbono como materia prima.

Por ejemplo, el CO<sub>2</sub> recuperado puede combinarse con distintas sales de calcio y magnesio para dar lugar a minerales útiles como materiales de construcción. Este proceso, que ocurre de forma natural en el ciclo del carbono, puede aprovecharse para reducir tanto las emisiones de gases de efecto invernadero como el consumo excesivo de recursos naturales. Mediante distintos procesos, el CO<sub>2</sub> puede combinarse con otros productos de desecho como cenizas, escoria de demolición, relaves mineros para producir asfalto, cemento, ladrillos y mucho más<sup>6</sup>. Al contrario que otras soluciones basadas en la reutilización, en estos sistemas el CO<sub>2</sub> se fija de forma permanente utilizando cantidades muy pequeñas de energía. Según algunas estimaciones, podría reducir hasta un 2% de las emisiones globales de dióxido de carbono en 2030.

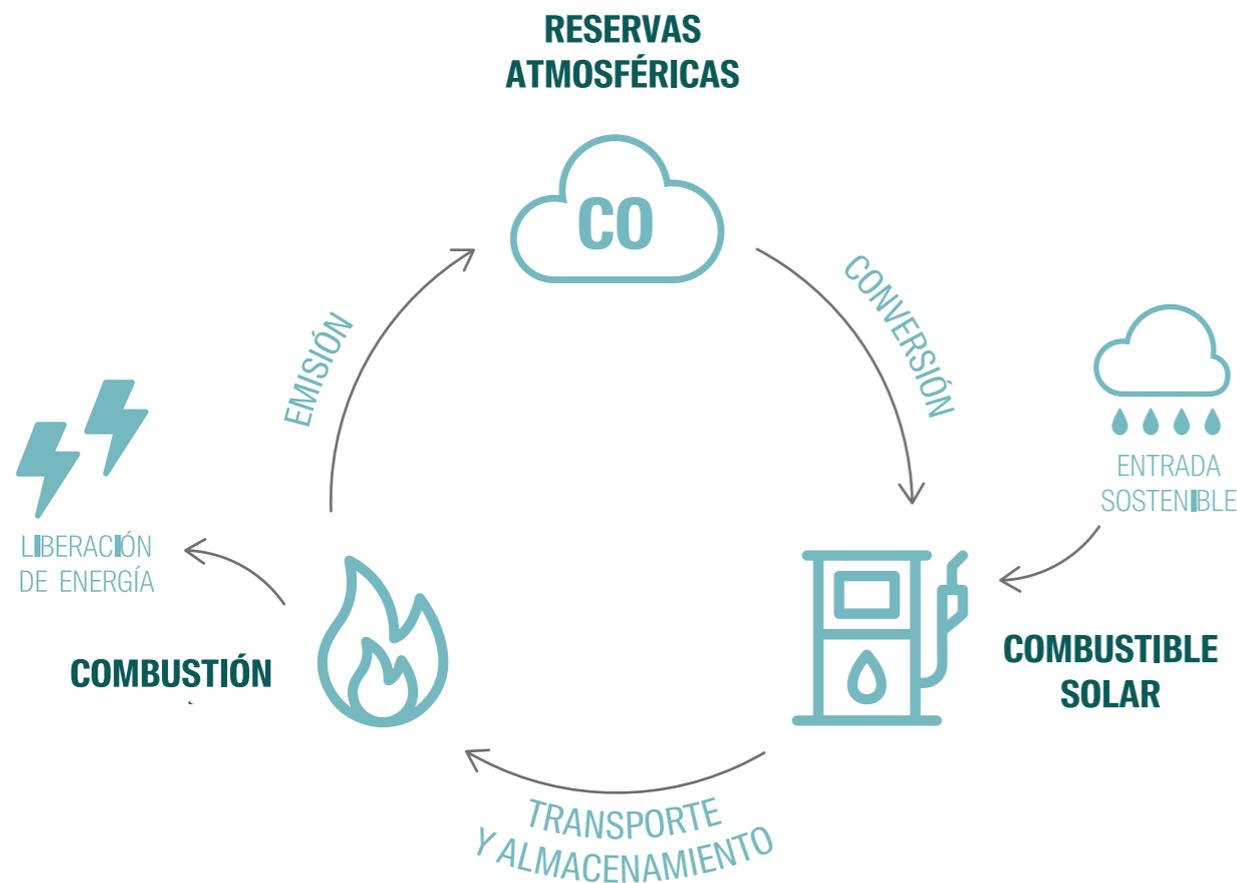
## Plásticos y CO<sub>2</sub>.

Los plásticos presentan también grandes oportunidades para la reutilización y valorización del CO<sub>2</sub>. Estos materiales, que revolucionaron la industria química en el siglo XX, se han convertido en un gran problema medioambiental. Los plásticos constituyen buena parte de las más de ocho billones de toneladas de basura que llenan nuestros océanos. Además, proceden casi exclusivamente de materias primas fósiles como el petróleo. -, La utilización del dióxido de carbono como materia prima se ha convertido en una solución verde muy atractiva. Se trata de una oportunidad excepcional para reaprovechar productos que hoy en día se consideran un desecho. Un buen ejemplo en este sentido es la utilización de dióxido de carbono en nuevos materiales de construcción. Estos procesos tendrían el doble de ventajas: por un lado, reducirían las emisiones atrapando CO<sub>2</sub> de manera permanente y, además, eliminarían nuestra dependencia en combustibles fósiles para preparar productos de consumo. También la industria química puede convertir el CO<sub>2</sub> en policarbonatos, termoplásticos duros utilizados en la fabricación de estructuras para arquitectura, automoción, electrónica y maquinaria. Otros ejemplos más recientes también logran transformar el dió-

Fuente: Differ

FIGURA 2.

**EL CO<sub>2</sub> COMO MATERIA PRIMA PARA FABRICAR COMBUSTIBLES RENOVABLES.** LA FOTOSÍNTESIS ARTIFICIAL, Y OTROS PROCESOS SIMILARES, PUEDEN AYUDARNOS A FABRICAR COMBUSTIBLES CON IMPACTO CLIMÁTICO CERO A PARTIR DE DIÓXIDO DE CARBONO, PROVENIENTE TANTO DE LOS RESIDUOS INDUSTRIALES COMO DIRECTAMENTE DE LA ATMÓSFERA. ESTE ESQUEMA REPRESENTA EL CICLO DE VIDA COMPLETO, BASADO EN ENERGÍAS RENOVABLES, QUE PERMITE UNA TRANSICIÓN HACIA UNA ECONOMÍA CIRCULAR Y SOSTENIBLE.



xido de carbono en polímeros como el nailon y el poliuretano. La multinacional alemana Covestro ya fabrica colchones de poliuretano con un 20% de CO<sub>2</sub> reciclado. Los expertos calculan que, si este mismo proceso se aplicara de forma global, se evitarían las emisiones de 90 millones de toneladas de dióxido de carbono, el equivalente a plantar cuatro millones de árboles. Además, el CO<sub>2</sub> como materia prima es 20 veces más barato que los derivados de petróleo utilizados tradicionalmente en la fabricación de poliuretano. Este aspecto es clave para el desarrollo de nuevos procesos sostenibles que deben ser viables económicamente. Gracias al desarrollo de nuevos catalizadores es posible darle una nueva vida al CO<sub>2</sub> pero todavía queda mucho por hacer para que estos procesos sean adoptados por la industria<sup>7</sup>.

El dióxido de carbono puede transformarse en muchos otros productos de alto valor añadido para las industrias química y farmacéutica. A través de diferentes procesos químicos y bioquímicos, los científicos han conseguido convertir el CO<sub>2</sub> en productos químicos sencillos como el ácido acético y, a partir de estas piezas de puzle sostenibles, sustancias más complejas como ácidos grasos, terpenos, incluso medicamentos antitumorales como el taxol. Estos resultados nos hacen pensar que, pronto, el dióxido de carbono podría convertirse en una materia prima para preparar cientos de sustancias en grandes cantidades y con alto valor añadido<sup>8</sup>.

*Una de las tecnologías más atractivas es la fotosíntesis artificial*

En este sentido, una de las tecnologías más atractivas es la conversión del dióxido de carbono en nuevos combustibles sostenibles. A menudo esto se denomina "fotosíntesis artificial", dado que recuerda a las reacciones que llevan a cabo las plantas para transformar el CO<sub>2</sub> en moléculas complejas utilizando únicamente la luz solar como fuente de energía. La ventaja de estos combustibles "solares" frente a los combustibles fósiles es la neutralidad climática. No existe una

contribución neta al efecto invernadero porque se trata de un ciclo cerrado en el que el CO<sub>2</sub> generado es el mismo que luego vuelve a convertirse en combustible. No se trata de una fijación de carbono permanente, pero ofrece una alternativa sostenible al petróleo y el gas natural<sup>9</sup>. Además, esta alternativa de reciclaje del dióxido de carbono permite seguir utilizando nuestras infraestructuras energéticas. Los productos de la fotosíntesis artificial incluyen el metano, el ácido fórmico, el metanol y el etanol, combustibles similares a los derivados del petróleo, pero sostenibles. Actualmente, esta tecnología todavía se enfrenta a grandes retos, como encontrar catalizadores que no utilicen metales provenientes de zonas en conflicto como el cobalto y aumentar el rendimiento para conseguir procesos viables a escala industrial. Sin embargo, los primeros prototipos y resultados son altamente prometedores; las predicciones más optimistas anticipan que esta tecnología puede convertirse en una realidad comercial y competitiva en los próximos diez años<sup>10</sup>.

### Fotocatalizadores.

La mayoría de las soluciones de fotosíntesis artificial requieren sistemas acoplados a celdas solares, para capturar la energía de la luz, un proceso que, en las plantas, lleva a cabo la clorofila<sup>11</sup>. Un gran avance para eliminar este problema y aumentar la eficiencia  $W_{son}$  los fotocatalizadores: sustancias que, al mismo tiempo, capturan la energía del sol y aceleran la velocidad de las reacciones. Normalmente, los fotocatalizadores son materiales semiconductores, como el dióxido de titanio. Adaptando la composición, estructura y morfología de estas sustancias, los investigadores consiguen mejorar el rendimiento de las reacciones de conversión y valorización de CO<sub>2</sub>. Otro reto importante reside en la fabricación de fotocatalizadores que, como las plantas, funcionen con luz visible dado que, de momento, la mayor parte de las alternativas disponibles necesitan radiación ultravioleta, una frecuencia que representa solo el 5% de la luz solar y, además, es muy dañina<sup>12</sup>. Combinando estas dos virtudes, pueden prepararse combustibles sostenibles utilizando dos materias primas muy abundantes. A pesar de estar todavía lejos de convertirse en una solución industrial, los resultados preliminares son prometedores para la fotocatalisis.

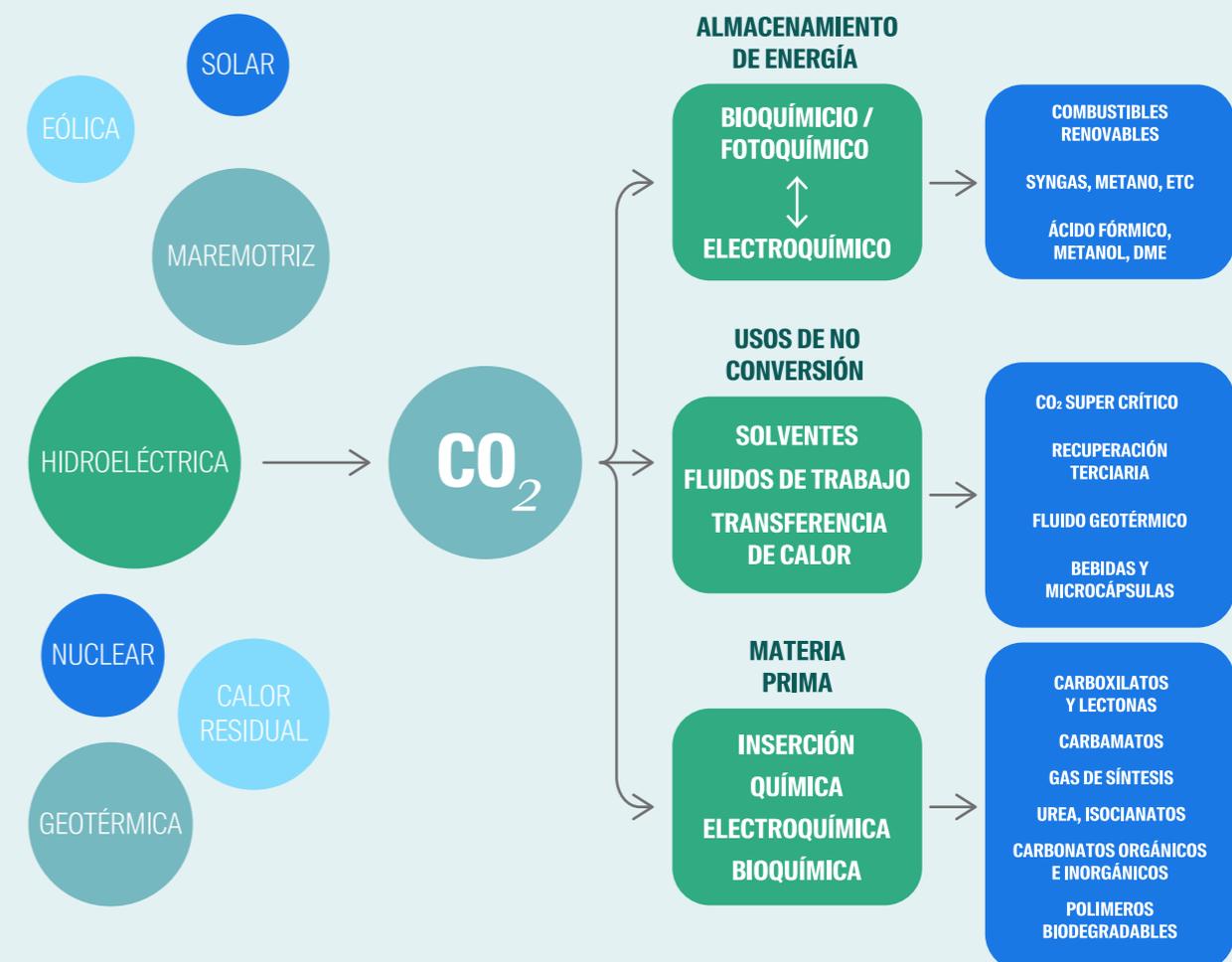
Fuente: Agarwal A.S., Rode E., Sridhar N., Hill D. (2015) Conversion of CO<sub>2</sub> to Value-Added Chemicals: Opportunities and Challenges. In: Chen WY., Suzuki T., Lackner M. (eds) Handbook of Climate Change Mitigation and Adaptation. Springer, New York, NY. [https://doi.org/10.1007/978-1-4614-6431-0\\_86-1](https://doi.org/10.1007/978-1-4614-6431-0_86-1)

<https://www.aop.es/blog/2020/11/11/captura-uso-co2-analisis-estrategico-tecnico-economico/>

[https://www.ign.es/espmap/mapas\\_conta\\_bach/Contam\\_Mapas\\_04.htm](https://www.ign.es/espmap/mapas_conta_bach/Contam_Mapas_04.htm)

FIGURA 3.

**TRANSFORMAR EL CO<sub>2</sub> EN PRODUCTOS DE VALOR AÑADIDO. ADEMÁS DE COMBUSTIBLES, EL CO<sub>2</sub> PUEDE CONVERTIRSE EN OTROS PRODUCTOS DE ALTO VALOR AÑADIDO, COMO PLÁSTICOS, MATERIALES DE CONSTRUCCIÓN, FERTILIZANTES, DISOLVENTES, Y MUCHO MÁS.**





# La posición de España

## Un actor de referencia en tecnologías de captura y utilización de CO<sub>2</sub> (CCU)

La urgencia de los informes del IPCC contrasta con el irregular ritmo de desarrollo de las tecnologías de captura y valorización. En su balance del año 2021, la Agencia Internacional de la Energía (IEA) constata un aumento del 6 % en la demanda mundial de electricidad, el mayor en términos porcentuales desde 2010, cuando el mundo se estaba recuperando de la crisis financiera mundial, equivalente a más de 1.500 teravatios-hora en términos absolutos, el más alto de la historia<sup>13</sup>. Para alimentar ese incremento, la generación eléctrica a partir de carbón creció un 9 %, lo que representa más de la mitad del aumento de la demanda y un nuevo pico histórico. En consecuencia, las emisiones de CO<sub>2</sub> derivadas de la generación eléctrica subieron un 7%, lo que las situó también en un nivel sin precedentes, tras haber disminuido los dos años anteriores. Estas emisiones deben reducirse en un 55% en 2030 para cumplir con el Escenario de Emisiones Netas Cero de la IEA en 2050, pero para ello se requiere más innovación y una acción política importante por parte de los gobiernos. Por ahora, la previsión es que se mantendrán alrededor del mismo nivel durante los próximos tres años.

Las expectativas de actividad económica en torno a las tecnologías de captura y utilización de carbono (CCU) dejan siempre abiertas puertas al optimismo y cada desarrollo tecnológico confirma que son enormes las posibilidades reales. El problema es escalar las soluciones a nivel global. Con el 85% de las emisiones de CO<sub>2</sub> en todo el mundo operando fuera de un esquema de fijación de precios del carbono, es poco probable que las empresas inviertan en la investigación inicial o en

los costes de instalación de la tecnología CCU sin el apoyo del Gobierno o financiación mediante concesión. En ese sentido, aunque se producen avances, no dejan de ser imprecisos.

### *La captura de CO<sub>2</sub> y el desarrollo sostenible.*

La Comisión Europea ha publicado un informe sobre cómo reparar y prepararse para la próxima generación, en el que se compromete a realizar inversiones estratégicas en tecnologías clave para la transición de energía limpia, como almacenamiento de energía y renovables, hidrógeno limpio, baterías, CCU e infraestructuras de energía sostenible<sup>14</sup>. Según plantea, los incentivos financieros deberían impulsar la industria como ocurrió anteriormente con las energías renovables. La alineación de las CCU con los Objetivos de Desarrollo Sostenible (ODS) podría ser fundamental para garantizar un apoyo continuo en la formulación de políticas y mediante la financiación pública. Se ha demostrado que los posibles efectos positivos y negativos pueden identificarse mediante la evaluación sistemática de dichas tecnologías frente a los ODS<sup>15</sup>.

España aparece como uno de los países con más potencial para convertirse en un actor de referencia en el ámbito de las tecnologías CCU, cerca de Alemania, Reino Unido y Francia y al nivel de Italia y Polonia<sup>16</sup>. La cantidad anual de CO<sub>2</sub> liberada en Europa por fuentes industriales es de aproximadamente 1.900 MtCO<sub>2</sub>, mientras que la utilización potencial que se podría alcanzar con las tecnologías desplegadas apenas alcanza los 68 MtCO<sub>2</sub>, lo que representa el 3,6% de la cantidad total de CO<sub>2</sub> disponible.

## *30%. Reducción de emisiones brutas totales en España 2020-2030 (Plan Nacional de Energía y Clima)*

El Plan Nacional de Energía y Clima publicado por el Ministerio para la Transición Ecológica y el Reto Demográfico<sup>17</sup> incluye en su hoja de ruta para el periodo de 2021 a 2030 una reducción de las emisiones totales brutas en España de los 319,3 MtCO<sub>2</sub>-eq de 2020, a los 221,8 MtCO<sub>2</sub>-eq en 2030.

Los sectores de la economía que, en cifras absolutas, reducirán más sus emisiones en ese periodo son generación eléctrica, 36 MtCO<sub>2</sub>-eq; movilidad y transporte, 27 MtCO<sub>2</sub>-eq; residencial, comercial e institucional, 10 MtCO<sub>2</sub>-eq; e industria (combustión), 7 MtCO<sub>2</sub>-eq. Uno de los cinco puntos de acción mencionados para lograr estos objetivos son las tecnologías CCUS, pero no habla de metas específicas para 2050. Los altos costes y las cuestiones no resueltas en torno al almacenamiento o la falta de alternativas realistas para el uso sostenible del carbono capturado a gran escala han dificultado y siguen dificultando la comercialización de las tecnologías CCUS en España, según reconoce el propio Ministerio.

### *Almacenamiento geológico.*

Nuestro país fue de los primeros en trasponer la directiva europea CCS, relativa al almacenamiento geológico seguro de CO<sub>2</sub>, lo que debería proporcionar un marco legal estable. Contempla el otorgamiento de licencias de exploración para determinar la capacidad de almacenamiento por un período máximo de nueve años y la posterior autorización de almacenamiento para explotar en exclusiva el lugar durante 50 años. El instrumento tiene un alto grado de previsibilidad, pero un bajo grado de flexibilidad. En cuanto a los CCUS industriales en España, el Instituto Geológico y Minero lleva a cabo análisis preliminares de posibles alternativas de almacenamiento de CO<sub>2</sub> y no se esperan avances relevantes en la transformación en materiales duraderos hasta dentro de al menos dos décadas. Por lo tanto, no es previsible una implementación de CCUS industriales a corto plazo.

Entre los proyectos de investigación en los que ha participado nuestro país destaca "CO<sub>2</sub>Fokus: síntesis directa de DME a partir de CO<sub>2</sub>"<sup>18</sup>, que tiene como objetivo desarrollar una tecnología capaz de utilizar el CO<sub>2</sub> emitido por los procesos industriales como materia prima para producir dimetiléter (DME), un gas que se usa con frecuencia en la industria química y que, generalmente, se obtiene de fuentes fósiles. Contempla la fabricación mediante impresión 3D de un reactor catalítico multicanal con propiedades de transferencia de calor y masa favorables y baja caída de presión. Tecnalia forma parte del consorcio y su papel es desarrollar un sistema competitivo de celdas de óxido sólido con un tamaño óptimo de pila y operación para la producción y uso de DME.



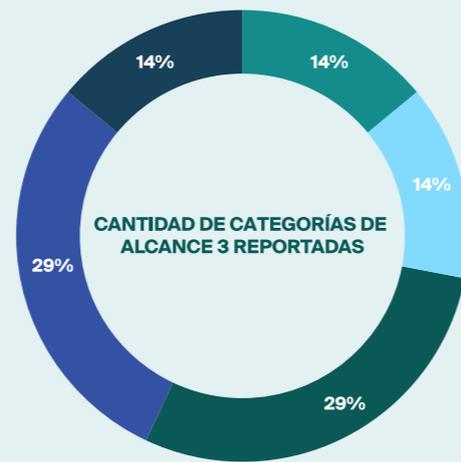
Fuente: ECOACT

FIGURA 4.

**LA LUCHA CONTRA EL CAMBIO CLIMÁTICO DE LAS EMPRESAS DEL IBEX 35.** LAS EMPRESAS ENERGÉTICAS DEL IBEX 35 LIDERAN LA INCORPORACIÓN DE ESTRATEGIAS DE SOSTENIBILIDAD Y DE CAMBIO CLIMÁTICO EN SU MODELO DE NEGOCIO Y SON REFERENTES PARA EL RESTO DE COMPAÑÍAS DEL ÍNDICE.

MEDICIÓN Y REPORTE

- NO REPORTA EMISIONES DE ALCANCE 3
- 1 CATEGORÍA
- 2-5 CATEGORÍAS
- 6-14 CATEGORÍAS
- 15 CATEGORÍAS O DA UNA EXPLICACIÓN VÁLIDA DE POR QUÉ ALGUNAS CATEGORÍAS NO SON RELEVANTES



EVALUACIÓN Y GESTIÓN DE RIESGOS CLIMÁTICOS

**97%** (2019: 80%)  
ANALIZA LOS RIESGOS CLIMÁTICOS



**71%** (2019: 74%)  
ANALIZA LOS RIESGOS DE LA CADENA DE VALOR



**60%** (2019: 49%)  
REPORTA LOS RIESGOS CLIMÁTICOS EN LA SECCIÓN DE RIESGOS DEL INFORME ANUAL



**83%** (2019: 74%)  
IDENTIFICA OPORTUNIDADES CLIMÁTICAS



**69%** (2019: 54%)  
CUENTA CON UNA ESTRATEGIA DE GESTIÓN DE RIESGOS CLIMÁTICOS



OBJETIVOS DE REDUCCIÓN DE CARBONO

**66%** ESTABLECE OBJETIVOS DE REDUCCIÓN DE CARBONO



**57%** EN CAMINO DE ALCANZAR SUS OBJETIVOS



**43%** ESTABLECE O SE COMPROMETE A ESTABLECER UN SBT



**48%** INCLUYE EL ALCANCE EN LOS OBJETIVOS DE REDUCCIÓN



INSTRUMENTOS PARA FOMENTAR LA ACCIÓN CLIMÁTICA

**60%** OFRECE INCETIVOS ECONÓMICOS A LA ALTA DIRECCIÓN PARA PREMIAR EL PROGRESO SOSTENIBLE

**31%** ESTABLECE UN PRECIO INTERNO AL CARBONO

**37%** OFRECE INCETIVOS A LOS EMPLEADOS PARA FOMENTAR EL COMPORTAMIENTO SOSTENIBLE

NEUTRALIDAD DE CARBONO

**60%** DE LAS COMPAÑÍAS SE HA COMPROMETIDO A LA NEUTRALIDAD DE CARBONO O A LAS CERO EMISIONES NETAS

**26%** CUENTA CON UNA ESTRATEGIA PARA ALCANZAR NEUTRALIDAD DE CARBONO O A LAS CERO EMISIONES NETAS

**43%** DEFINE SUS OBJETIVOS DE NEUTRALIDAD DE CARBONO O A LAS CERO EMISIONES NETAS

**6%** OFRECE AL MENOS UN PRODUCTO CARBONO NEUTRAL

COLABORACIÓN CON ACTORES



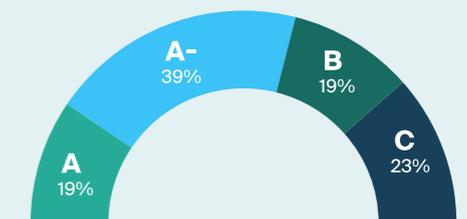
ENERGÍA RENOVABLE

**91%** CONSUME ELECTRICIDAD RENOVABLE

**20%** SE COMPROMETE A LLEGAR AL 100% DE ELECTRICIDAD RENOVABLE

**6%** SE ABASTECE AL 100% DE ELECTRICIDAD RENOVABLE

PUNTUACIONES EN CDP





# Aplicación e impacto

## Multiplicar por 100 las instalaciones de captura y utilización para 2040

En 2021, se anunciaron más de 100 nuevas instalaciones y la cartera de proyectos globales va en camino de cuadruplicarse<sup>19</sup>. Pero es habitual que este tipo de anuncios acaben matizándose. A lo largo de la década pasada se cancelaron algunos de los proyectos más ambiciosos y que más atención habían suscitado y muchos programas de financiación de los gobiernos no se cumplieron. De media, se ha agregado una capacidad de captura de menos de 3 millones de toneladas de CO<sub>2</sub> (MtCO<sub>2</sub>) en todo el mundo cada año desde 2010, con una capacidad de captura anual que ahora supera los 40 MtCO<sub>2</sub>. Esta cifra debería aumentar a 1.600 millones de toneladas (GtCO<sub>2</sub>) en 2030 para alinearse con un camino hacia el cero neto de emisiones en 2050. La IEA estima que se necesitarán por ello más de 2.000 nuevas instalaciones de CCU para 2040, una cifra que supone multiplicar por 100 las 19 existentes a nivel mundial en 2021<sup>20</sup>.

### *El ejemplo de Copenhague.*

Entre las iniciativas que sí se están haciendo realidad, Copenhague aspira a ser la primera ciudad neutra en carbono del mundo y planea equipar su principal instalación de residuos con CCUS, eliminando hasta 500.000 toneladas de CO<sub>2</sub> al año. Y empresas como Microsoft, United Airlines y otras están invirtiendo en tecnologías de captura directa de aire para cumplir con sus objetivos climáticos corporativos. El creciente interés por producir hidrógeno con bajas emisiones de carbono ha dado lugar a casi 50 instalaciones equipadas con CCUS y al anuncio en octubre de 2021 de Air Products de la instalación más grande del mundo en Louisiana, capaz de capturar y almacenar más de 5 MtCO<sub>2</sub> por año. Contribuyen los nuevos incentivos procedentes

del sector público: desde principios de 2020, los gobiernos y la industria han comprometido más de 25.000 millones de dólares en financiación específicamente para proyectos y programas de CCU.

En Europa, Noruega ha comprometido 1.800 millones para el proyecto Longship, que incluye el centro de almacenamiento en alta mar Northern Lights; los Países Bajos han anunciado hasta 2.000 millones de euros a través de su fondo de energía sostenible y clima para el centro Porthos CCUS en el puerto de Rotterdam; el Reino Unido ha establecido un Fondo de Infraestructura CCS de 1.000 millones de libras con el objetivo de construir cuatro centros CCU para 2030; y cuatro proyectos CCUS han sido seleccionados en la primera convocatoria de financiación del Fondo de Innovación de 10.000 millones euros de la Comisión Europea. El despliegue de CCU hasta 2030 en los dos escenarios diseñados por Reino Unido requeriría un apoyo continuado de entre 1.200 y 2.600 millones de libras al año<sup>21</sup>.

## *La combinación de hidrógeno verde y CO<sub>2</sub> genera productos químicos renovables*

La industria pesada, incluida la producción de amoníaco, cemento, etileno, acero, fabricación de productos químicos, refino y producción de hierro, representa el 21 % de las emisiones globales de gases de efecto invernadero (GEI). Entre 1990 y 2017, las emisiones industriales de CO<sub>2</sub> aumentaron un 70%. Se estima que, solo en los 21 mercados emergentes, donde se concentran muchas de esas actividades, la tecnología CCUS podría llegar a generar 671.400 millones dólares en los próximos 10 años y crear 22,5 millones de nuevos puestos de trabajo directos<sup>22</sup>. A nivel global, podrían ser 800.000 millones de dólares en 2030. Para ello, según el Escenario de Tecnología Limpia (CTS), vinculado a los objetivos definidos por el Acuerdo de París, se deben capturar más de 28 Gt de CO<sub>2</sub> de las instalaciones industriales hasta 2060. Las tecnologías CCUS deberían contribuir a una reducción de 21 Gt de CO<sub>2</sub> (27%) en el periodo 2017-2060, provenientes del cemento (18%, capturando 5 Gt de CO<sub>2</sub>), siderurgia (15%, capturando 10 Gt de CO<sub>2</sub>), y subsectores químico (38%, capturando 14 Gt de CO<sub>2</sub>)<sup>23</sup>.

Otra de las posibilidades del CO<sub>2</sub> está en la producción de productos químicos renovables, en combinación con fuentes como el hidrógeno verde (INTEC 2021). En este campo, existe una posibilidad real de que Europa pueda convertirse en líder mundial, ya que la base de la investigación y la tecnología están bien desarrolladas. El problema reside en la falta de oportunidades comerciales percibidas por las partes interesadas de la industria. Está previsto que esto se realice mediante electrólisis del agua utilizando energía renovable. Todas las tecnologías actuales deben mejorarse tanto para la estabilidad en el funcionamiento dinámico como para reducir la inversión por unidad de potencia. Un ejemplo prometedor es la fabricación de combustible sintético sin emisiones, un proyecto impulsado por Repsol con más de 60 millones de euros que producirá 50 barriles diarios de combustibles de carbono reciclado<sup>24</sup>.

### *Atmósfera y fuentes biogénicas.*

El dióxido de carbono para aplicaciones de CCU debe obtenerse de fuentes biogénicas o de la atmósfera para establecer un uso circular de los átomos de carbono involucrados. Alrededor de 10-15 Mt de CO<sub>2</sub> están potencialmente disponibles hoy en Europa por esa razón, una cantidad que se duplicará en los próximos 10-15 años (6-8 millones de toneladas de fermentación, 6-8 millones de toneladas de biogás después de la separación de CH<sub>4</sub>). Esta cantidad disponible de CO<sub>2</sub> podría representar alrededor del 15-20% de la demanda de olefinas ligeras en Europa y casi la mitad de los biocombustibles de transporte.

Es necesario diseñar nuevas tecnologías catalíticas para la utilización de CO<sub>2</sub>: catalizadores robustos para la síntesis de metano y metanol; y catalizadores para la conversión de CO<sub>2</sub> en olefinas e hidrocarburos de cadena larga también, un campo tiene un gran interés económico y potencial a gran escala. Hay, en definitiva, muchas áreas de creciente interés para la utilización de CO<sub>2</sub>, por ejemplo, la de los procesos electrocatalíticos, pero se encuentran en un nivel mucho más bajo de desarrollo industrial. Solo el área de utilización de CO<sub>2</sub> para la producción de polímeros que contienen CO<sub>2</sub> puede considerarse en el mismo nivel de desarrollo.

### *Metanol.*

Carbon Recycling International (CRI) y otros miembros del consorcio de investigación MefCO<sub>2</sub> están construyendo en Alema-

nia una unidad de demostración de producción de metanol a partir de CO<sub>2</sub> de aproximadamente 300 t/año. Carbon Recycling International fue el primero en construir una planta semicomercial para la producción de metanol a partir de CO<sub>2</sub> y electricidad procedentes de fuentes geotérmicas, en Islandia. Otra planta piloto, Carbon2Chem en la acería Thyssenkrupp en Duisburg (Alemania), también está diseñada para producir unas 50 t/año de metanol, y Audi e-Gas produce ya 1.000 toneladas/año de metano a partir de CO<sub>2</sub><sup>25</sup>.

La mayor oportunidad de inversión se encuentra en el sector de materiales de construcción (es decir, carbonatos para fortalecer el concreto premezclado o la producción de cementos que no son Portland), con estimaciones que oscilan entre los 150.000 millones y 400.000 millones en 2030. El tamaño del mercado para los agregados, es decir, el material de relleno o infiltrante que soporta carga en concreto, se espera asimismo que alcance los 150.000 millones también al término de la presente década.

## *El mercado global de CCU puede alcanzar 800.000 millones de dólares en 2030*

Las normas de contratación pública a nivel nacional y subnacional pueden ser una herramienta eficaz para acelerar la aceptación del cemento y el hormigón producidos con bajas emisiones de carbono y los estándares de la industria también pueden proporcionar un estímulo importante, ya que la mayor parte del hormigón producido a nivel mundial utiliza cemento Portland. Así lo están entendiendo ya las partes interesadas de la industria: el proyecto LEILAC (cal y cemento de baja intensidad de emisiones) en Bélgica recibió fondos de la UE para aplicar la tecnología CCUS sin aumentar significativamente el consumo de energía con vistas a la industria del cemento en Europa, aunque los resultados potencialmente pueden transferirse a otros entornos.

La Fundación IMDEA Energía participa junto a Gulf Organisation for Research and Development, GORD y la Universidad de Aberdeen en el proyecto Solar Thermal Con-

version of CO<sub>2</sub> into Valuable Nanomaterials, que propone una tecnología para acoplar la calcinación de caliza con la producción de nanotubos de carbono utilizando un sistema de reacción electroquímico de sales fundidas. Esto reduce el coste del combustible de la calcinación, a la vez que convierte el CO<sub>2</sub> emitido en un producto de alto valor añadido. Un objetivo adicional del proyecto es reducir la huella de carbono global del proceso mediante la utilización de tecnologías solares. Las tecnologías de energía solar concentrada y fotovoltaica se utilizarán como fuente de energía eléctrica y térmica renovable del sistema.

### *Transición energética.*

El problema de raíz es que nuestro sistema energético actual tardó más de un siglo en llegar a su forma actual, pero la transición energética requiere una infraestructura novedosa con redistribuciones geográficas radicalmente diferentes de sus elementos. Esto llevará décadas y afectará a más partes interesadas que el sistema actual. Así lo pone de relieve un informe de varios expertos para la Comisión Europea<sup>26</sup>, que repasa todas las líneas de innovación que se necesitan para hacer viable la implantación de las tecnologías CCU. Su punto de partida es que tecnologías subyacentes son insuficientes para una utilización atractiva a gran escala, simplemente por el hecho histórico de que el suministro de energía fósil predominante no ha requerido hasta ahora ni de tecnologías de almacenamiento ni de procesos químicos de dividir el agua y activar el CO<sub>2</sub> a gran escala. El estado de indefinición actual es generalizado, para incrementar las posibilidades de mineralización de CO<sub>2</sub> con objeto de producir bienes valiosos como plásticos, combustibles o material de construcción, está demostrado también que la financiación disponible en todas las fases de desarrollo aún es inadecuada o no está suficientemente enfocada<sup>27</sup>.



Fuente: Guidehouse insights

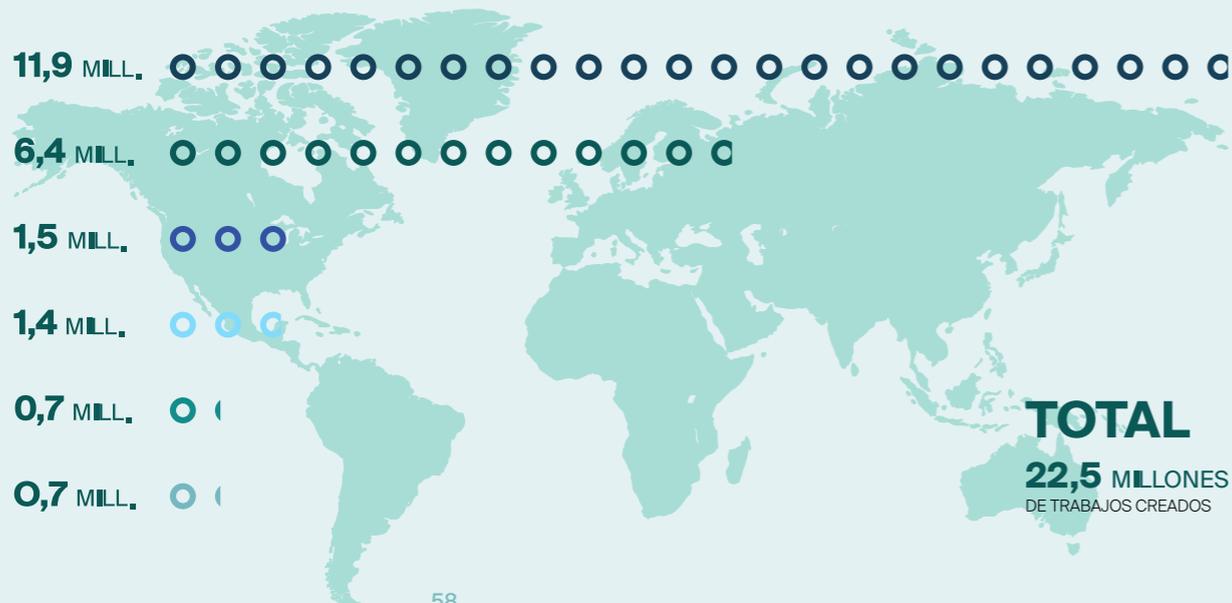
FIGURA 5.

**OPORTUNIDADES DE MERCADO.** LAS TECNOLOGÍAS DE CAPTURA, ALMACENAMIENTO Y VALORIZACIÓN DEL CO<sub>2</sub> REPRESENTAN UNA GRAN OPORTUNIDAD PARA TODOS LOS MERCADOS DEL MUNDO. LAS PREVISIONES ESTIMAN LA CREACIÓN DE MÁS DE 22 MILLONES DE PUESTOS DE TRABAJO Y LA REDUCCIÓN DE 545 MTCO<sub>2</sub> DE EMISIONES.

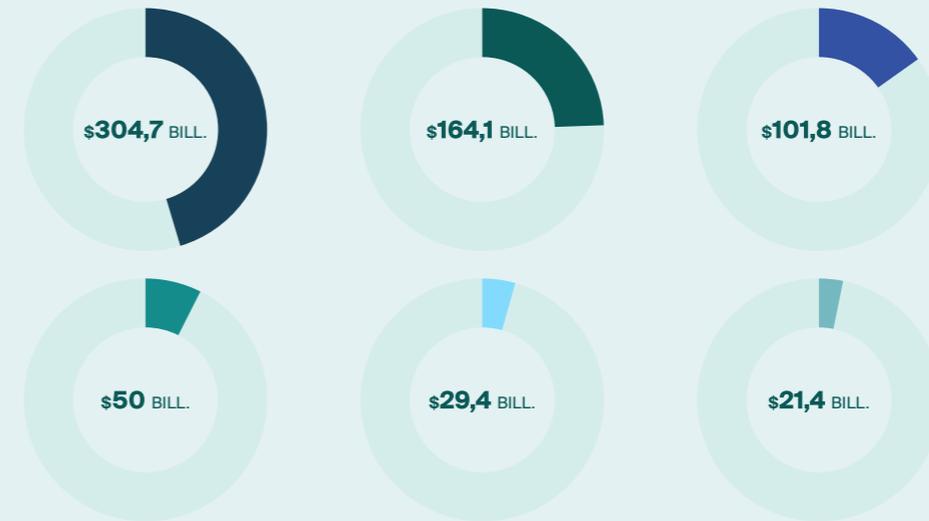
**CAPTURA DE CARBONO, UTILIZACIÓN Y ALMACENAMIENTO: OPORTUNIDADES DE INVERSIÓN, CREACIÓN DE EMPLEO Y REDUCCIÓN DE EMISIONES DE GASES DE EFECTO INVERNADERO EN 21 MERCADOS EMERGENTES ENTRE 2020 Y 2030**

- ESTE DE ASIA Y EL PACÍFICO
- SUR DE ASIA
- LATINO AMÉRICA Y EL CARIBE
- EUROPA
- ÁFRICA SUBSAHARIANA
- ORIENTE MEDIO Y NORTE DE ÁFRICA

**TRABAJOS CREADOS**

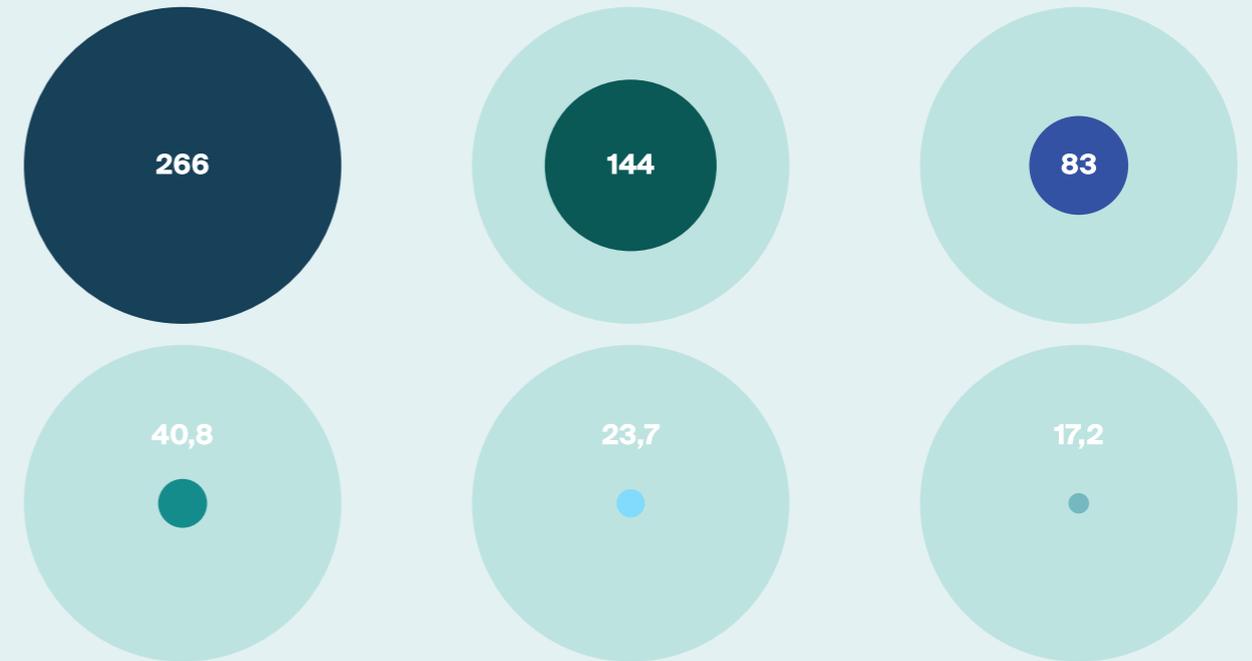


**OPORTUNIDAD DE INVERSIÓN**



**TOTAL**  
\$671,4 MILES DE MILLONES  
OPORTUNIDAD DE INVERSIÓN

**REDUCCIÓN POTENCIAL DE EMISIONES DE GASES DE EFECTO INVERNADERO**



**TOTAL**  
544,6 MILLONES DE TONELADAS DE CO<sub>2</sub>E  
REDUCCIÓN POTENCIAL DE EMISIONES DE GASES DE EFECTO INVERNADERO

## \* ————— *Conclusiones*

El modelo energético y económico actual es el producto de varios siglos de desarrollos tecnológicos en torno a la quema de combustibles fósiles. Esto, inevitablemente, genera emisiones de dióxido de carbono, un gas de efecto invernadero que catapultó la crisis climática. Ahora es el momento de cambiar y rediseñar nuestros procesos productivos hacia un modelo más sostenible, compatible con la economía circular. Y, sorprendentemente, el CO<sub>2</sub> puede convertirse en una respuesta. Capturándolo y convirtiéndolo en una nueva materia prima podemos encontrar una nueva fuente de carbono limpia, a partir de la cual fabricar productos de valor añadido y combustibles con cero emisiones.

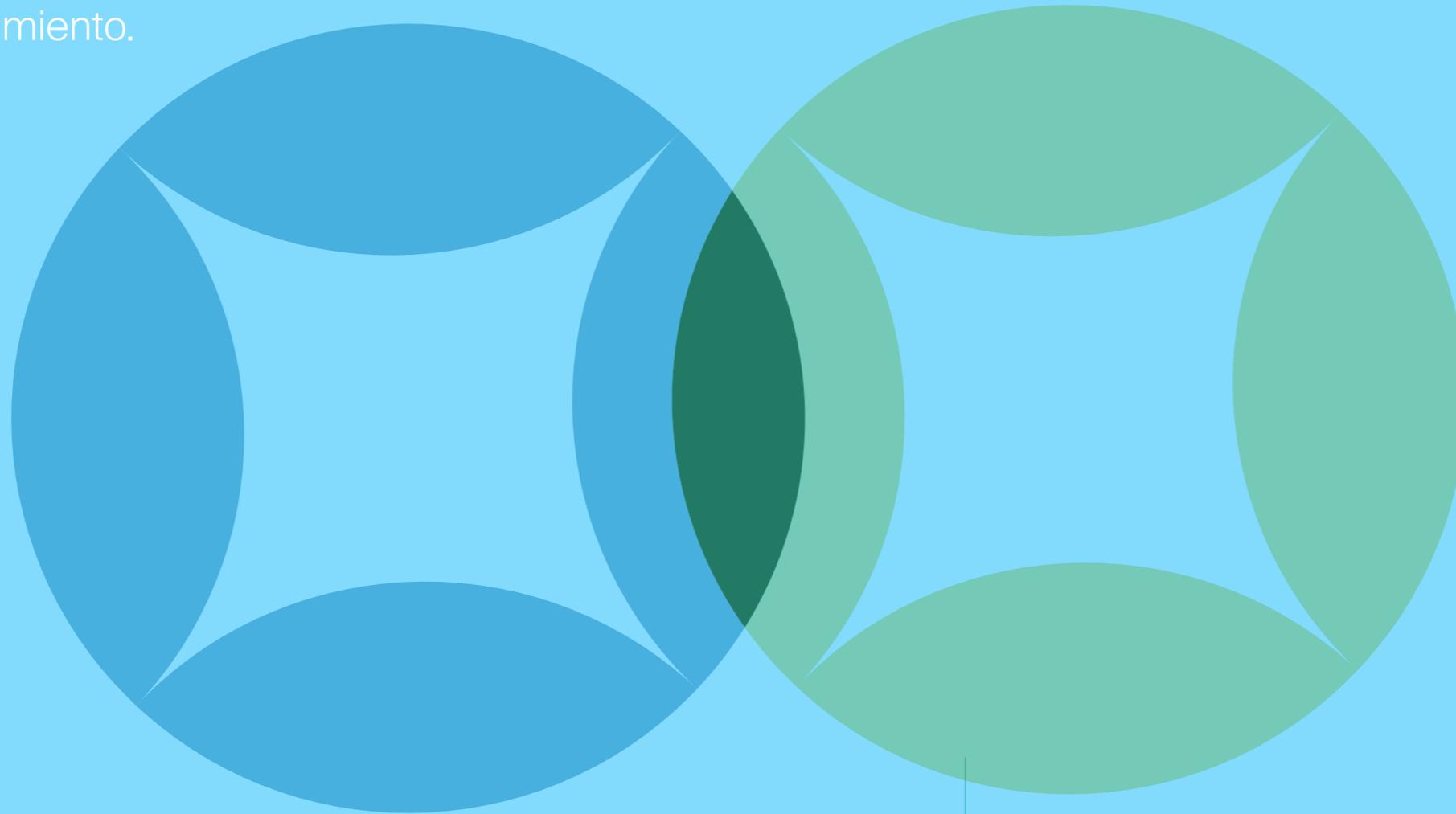




# 02. Tecnologías para la detección de bacterias resistentes

Superbacterias:  
Identificarlas para acelerar el  
diagnóstico y tratamiento.

/ Diagnóstico preciso y mejora de tratamientos  
/ Reducción abuso y mal uso antibióticos



/ Avance en nanotecnología, microfluídica y técnicas moleculares  
/ Desarrollo de la secuenciación masiva  
/ Técnicas de detección sencillas y portátiles



## En clave

Los medicamentos antibióticos fueron uno de los grandes descubrimientos científicos del siglo XX. Sin embargo, los hemos utilizado tanto que las bacterias han aprendido a defenderse; los antibióticos están dejando de funcionar. Esto plantea riesgos enormes, las heridas más insignificantes podrían tener consecuencias fatales. Por ello, además de trabajar en el desarrollo de nuevos fármacos, los científicos investigan nuevas tecnologías para la detección de bacterias resistentes. Localizar las amenazas a tiempo acelera el diagnóstico y tratamiento adecuados.



## La tecnología

### Superbacterias: identificarlas para acelerar el diagnóstico y tratamiento

A finales de 1928, el médico escocés Alexander Fleming anunció un descubrimiento revolucionario. Apenas dos décadas después, el comité Nobel decidió otorgarle este prestigioso premio “por el descubrimiento de la penicilina y su efecto curativo en varias enfermedades infecciosas”<sup>1</sup>. La penicilina era uno de los primeros antibióticos, sustancias que impiden el crecimiento de microorganismos, generalmente bacterias. Estas se han vuelto fundamentales en los tratamientos modernos. Gracias a los antibióticos se han salvado millones de pacientes y, además, ha aumentado considerablemente nuestra esperanza de vida<sup>2</sup>. Una revisión sobre resistencia a antibióticos publicada en el Reino Unido estima que, si no dispusiéramos de estos medicamentos, morirían 10 millones de personas al año y tendríamos pérdidas en el PIB global de 100 billones de dólares<sup>3</sup>.

Las bacterias desarrollan resistencia a los antibióticos mediante selección natural. Por puro azar, algunas tienen mutaciones en sus códigos genéticos que las hacen resistentes a los fármacos. Estas supervivientes se reproducen (generalmente de forma exponencial, duplicando la población cada pocos minutos) y se convierten en la variante dominante. Además, las bacterias pueden compartir material genético entre ellas mediante mecanismos de transferencia horizontal. Esto significa que pueden compartir sus estrategias para luchar contra los antibióticos entre diferentes individuos, incluso entre diferentes especies<sup>4</sup>. Algunas bacterias han aprendido a esquivar varios medicamentos, convirtiéndose en organismos “multirresistentes”, también conocidos comúnmente como “superbacterias”. Actualmente, la Organización Mundial de la Salud consi-

dera a las súperbacterias una de las mayores amenazas para la salud mundial, la seguridad alimentaria y el desarrollo. Considera que el número de bacterias resistentes está aumentando hasta niveles muy peligrosos; necesitamos medidas urgentes<sup>5</sup>. De hecho, un estudio reciente publicado en la prestigiosa revista médica The Lancet estima que las infecciones por bacterias multirresistentes matan actualmente a 1,2 millones de personas cada año, más que enfermedades como el sida, la malaria, e incluso algunos tumores<sup>6</sup>.



Fuente: N. Ganguly. "Antimicrobial resistance in developing countries"

FIGURA 1.

**LAS MUERTES POR RESISTENCIA A LOS ANTIBIÓTICOS EN 2050.** EN POCAS DÉCADAS, PODRÍAN MORIR HASTA 10 MILLONES DE PERSONAS CADA AÑO POR PROBLEMAS DERIVADOS DE LA RESISTENCIA A ANTIBIÓTICOS. ESTE MAPA DIVIDE LAS CIFRAS POR CONTINENTES: PODEMOS OBSERVAR QUE ÁFRICA Y ASIA SERÁN LOS MAYORES AFECTADOS SI NO DESARROLLAMOS NUEVOS MÉTODOS DE DETECCIÓN RÁPIDOS, BARATOS Y EFICACES.





## Retos y Oportunidades

Avances clave en nanotecnología, microfluídica y técnicas moleculares

Los nuevos métodos de detección de bacterias multirresistentes buscan acelerar un proceso que, normalmente, es largo y tedioso. Actualmente, para identificar diferentes cepas de bacterias los científicos suelen utilizar cultivos celulares que, aunque son métodos sensibles, requieren tiempos de preparación muy largos. A pesar de los avances en tecnologías automatizadas, la mayoría de estos sistemas necesitan al menos 24 horas para conseguir medidas precisas y fiables. Además, al tratarse de sustancias diseñadas para favorecer el crecimiento y el desarrollo de bacterias, suelen plantear problemas de contaminación cruzada; otros microorganismos fuera de los objetivos del análisis pueden corromper la muestra y alterar los resultados. Otro inconveniente de las técnicas analíticas actuales es la necesidad de grandes instalaciones en laboratorios especializados. Para democratizar el acceso a diagnósticos y tratamientos rápidos y eficaces, es necesario desarrollar nuevos sistemas de detección de superbacterias sencillos y portátiles. En este sentido, destacan los avances en nanotecnología, microfluídica y técnicas moleculares, todos ellos muy prometedores<sup>9</sup>.

Uno de los avances más prometedores llega de la mano de CARB-X, una iniciativa liderada por la Universidad de Boston, en EE.UU., ideada para combatir la resistencia a los antibióticos. Esta tecnología de diagnóstico permite detectar bacterias resistentes en sangre a niveles de concentración increíblemente bajos. Para lograrlo, los investigadores han desarrollado unas nanopartículas metálicas recubiertas de proteínas que se anclan de forma selectiva a ciertas cadenas de ADN presentes en las superbacterias. Luego, utilizando unas técnicas similares a la resonancia magnética, los investigadores pueden detectar las nanopartículas e identificar las cadenas genéticas asociadas, relacionadas directamente con 13 especies distintas de bacterias multirresistentes, algunas de las más peligrosas según el CDC, el Centro para el Control y Prevención de Enfermedades de EE.UU. Gracias a la financiación proporcionada por CARB-X, la empresa responsable de estos avances espera poder escalar la tecnología y desarrollar sistemas comerciales en los próximos años<sup>10</sup>. Este sistema, que evita los cultivos celulares, consigue resultados en menos de cinco horas, mucho más rápido que las alternativas tradicionales. Y, cuando hay procesos infecciosos en marcha, un diagnóstico rápido está directamente relacionado con un aumento de la supervivencia.

## *La secuenciación masiva puede ser una técnica analítica rutinaria en cinco años*

Otro avance considerable viene de la mano de investigadores valencianos: nuevos sistemas de secuenciación masiva que permiten acelerar el diagnóstico de enfermedades infecciosas, así como ofrecer información epidemiológica muy valiosa. Esta técnica requiere análisis bioinformáticos complejos, pero, al proporcionar la secuencia completa del genoma bacteriano, consigue identificar inequívocamente la especie patógena, factores de virulencia y peligrosidad, así como la presencia de mecanismos de resistencia a medicamentos. Gracias al desarrollo de métodos de secuenciación más rápidos y eficaces y a los avances en algoritmos de aprendizaje automático (que podrían acelerar el análisis de los genomas), la secuenciación masiva podría convertirse en una técnica analítica de rutina en los próximos cinco años. Actualmente el coste de reactivos y procesamiento de la muestra ronda los 100 euros, reducir este factor es una de las claves para garantizar la adopción masiva de este sistema de detección<sup>11</sup>.

Los avances en óptica y microfluídica (una familia de tecnologías que utilizan sistemas de análisis con cantidades minúsculas de líquidos) también han permitido el desarrollo de nuevos sistemas eficaces para la detección de súperbacterias<sup>12</sup>. Por ejemplo, es posible utilizar luz láser a modo de pinzas, para atrapar y transportar bacterias de una en una, para después analizarlas utilizando espectroscopia de Raman. Al analizar células sueltas, se eliminan tanto el ruido del fondo como posibles contaminantes. Además, esta técnica permite obtener resultados en pocas horas<sup>13</sup>. Gracias a los avances en microscopía e inteligencia artificial, se han desarrollado también sistemas que permiten monitorizar bacterias en vídeo. Estos sistemas pueden diferenciar bacterias activas e inactivas, así como identificar si los microorganismos están interaccionando con fármacos y anticuerpos. Aunque todavía están lejos de comercializarse, estos sistemas de rastreo de movimiento ("motion-tracking") podrían analizar muestras en cuestión de minutos, permitiendo un diagnóstico mucho más rápido<sup>14</sup>. También podrían ofrecer grandes ventajas los sistemas basados en microfluídica que, además de análisis rápidos, permiten desarrollar sistemas portátiles

capaces de ejecutar varias funciones consecutivas: reacciones, separación, manipulación, análisis y resultados visuales, como cambios de color. Estos sistemas, además, funcionan directamente con muestras corporales (orina, sangre) sin necesidad de tratamientos previos en el laboratorio. Esto reduce los costes y acelera la obtención de resultados; la microfluídica puede ofrecer soluciones en forma de pruebas portátiles que funcionen a escala global<sup>15</sup>.

Algunas pruebas de concepto utilizan sistemas accesibles como teléfonos móviles para analizar las muestras. Estos usan kits prefabricados que reaccionan con las muestras y pueden analizarse directamente con la cámara de un teléfono inteligente, algo que ofrece la posibilidad de resultados rápidos y, al mismo tiempo, precisos por encima del 99%. También se ha propuesto adaptar aparatos portátiles basados en métodos de amplificación de ADN como LAMP, una técnica para detectar el coronavirus SARS-CoV-2 y otros virus como el Zika y el dengue<sup>16</sup>. Otros avances incluyen el test de flujo lateral, similares a los test rápidos de antígenos contra la COVID-19, que utilizan nanopartículas y anticuerpos para detectar bacterias multirresistentes de forma selectiva y visual<sup>17</sup>.

Las pruebas de susceptibilidad se emplean asimismo en la determinación de los antimicrobianos que inhiben el crecimiento de bacterias u hongos que causan una infección específica y se estima que podrían alcanzar un volumen de negocio superior a los 5.000 millones de dólares en 2027. Su objetivo es predecir el éxito o el fracaso in vivo de la terapia con antibióticos, para lo cual miden la respuesta de crecimiento de un organismo aislado a un fármaco o fármacos en particular. Empresas como bioMérieux, Danaher Corporation, Bio-Rad Laboratories, Thermo Fisher Scientific o Merlin Diagnostika se encuentran entre los líderes en este ámbito.

Actualmente, existen algunas soluciones que proporcionan resultados rápidos (en menos de 24 horas) por precios por debajo de los cinco dólares. Sin embargo, queda mucho camino por recorrer. Necesitamos sistemas fiables, portátiles y universales. Muchas de las soluciones descritas consiguen detectar sólo algunas especies de súperbacterias, otras todavía necesitan reactivos complejos y aparatos avanzados como microscopios electrónicos y espectrómetros de masas.

Fuente: ZWE Science

FIGURA 2.

**LA RESISTENCIA A LOS ANTIBIÓTICOS.** DE MANERA NATURAL, EXISTEN CIERTAS BACTERIAS RESISTENTES A LOS ANTIBIÓTICOS, DEBIDO A MUTACIONES ALEATORIAS. CUANDO TOMAMOS MEDICAMENTOS ANTIBIÓTICOS, ELIMINAMOS A LAS BACTERIAS SUSCEPTIBLES, PERO LAS RESISTENTES PREVALECE Y SE MULTIPLICAN, DESARROLLANDO POBLACIONES QUE PUEDEN SOBREVIVIR A LOS TRATAMIENTOS. ADEMÁS, ALGUNAS BACTERIAS PUEDEN "COMPARTIR" INFORMACIÓN GENÉTICA SOBRE RESISTENCIA.



El objetivo son pruebas rápidas y eficaces, que realmente marquen la diferencia, según Thomas Gryns, un microbiólogo de la Clínica Mayo. Para reducir el abuso y el mal uso de los antibióticos y terminar con los problemas de resistencia, la clave son los sistemas de "point-of-care", que funcionen directamente en el lugar de la toma de muestra sin preparativos ni tratamientos, de forma económica, rápida y eficiente<sup>18</sup>.

### *La secuenciación masiva puede ser una técnica analítica rutinaria en cinco años*

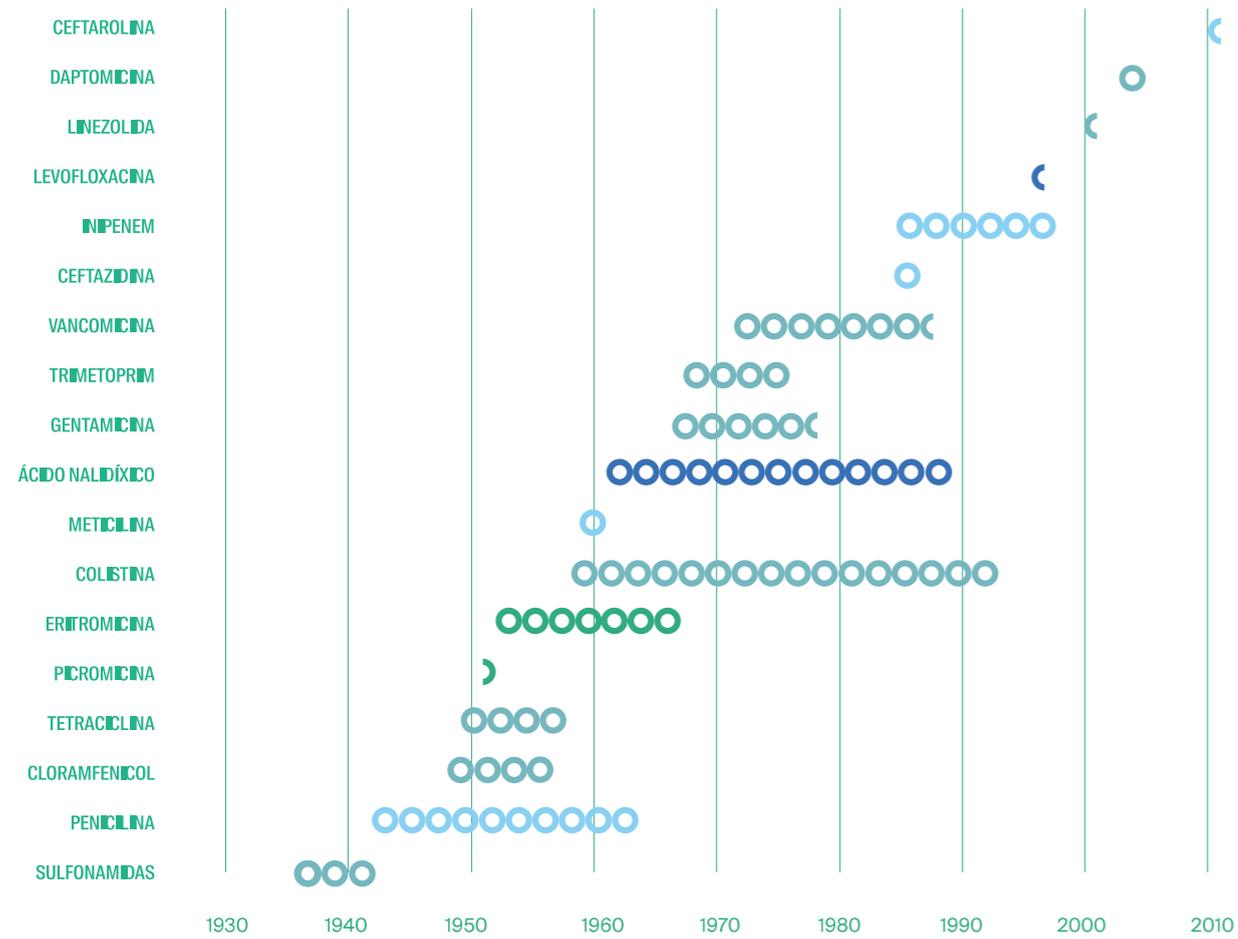
Por tanto, es fundamental desarrollar nuevas tecnologías para poder hacer frente a esta amenaza. Algunas líneas de investigación estudian nuevos antibióticos contra superbacterias<sup>7</sup>, otras buscan otras formas de atacar a los microbios para evitar que desarrollen resistencia, como las terapias basadas en virus bacteriófagos<sup>8</sup>. Pero, además, es necesario invertir en mejores soluciones para la detección de bacterias multiresistentes. Por un lado, hacen falta sistemas capaces de encontrar nuevas amenazas, sistemas que puedan discernir qué microorganismos son verdaderamente peligrosos. Y, por otro lado, hacen falta técnicas capaces de identificar superbacterias de forma sensible, rápida y eficaz, para poder tomar decisiones rápidas sobre diagnóstico y tratamiento. Entender mejor cómo actúan los microorganismos patógenos, así como identificarlos correctamente, debería conducir a un uso más racional de los medicamentos antibióticos.

Fuente: J. Dietvorst et al. Trends Anal. Chem. 2020, 127, 115891 (DOI: 10.1016/j.trac.2020.115891).

- BETA-LACTAMAS
- MACROLIDOS
- QUINOLONAS
- OTRAS FAMILIAS

**FIGURA 3.**

**EVOLUCIÓN DE LA RESISTENCIA.** CADA VEZ APARECEN MÁS RÁPIDO LAS RESISTENCIAS A LOS ANTIBIÓTICOS. ESTE GRÁFICO REPRESENTA LOS PERIODOS DE TIEMPO ENTRE LA INTRODUCCIÓN DE UN MEDICAMENTO NUEVO Y LA APARICIÓN DE RESISTENCIA. COMO PUEDE VERSE, TODOS LOS MEDICAMENTOS DESCUBIERTOS EN LOS AÑOS 2000 HAN DESARROLLADO RESISTENCIA EN APENAS DOS DÉCADAS.





## La posición de España

### Innovación española frente a meningitis, sepsis, legio- nela y tuberculosis

Entre las innovaciones surgidas en España en el ámbito del diagnóstico los últimos años, destaca New Born Solutions, que ha ideado un dispositivo con el que diagnosticar la meningitis sin necesidad de métodos invasivos y en apenas unos minutos. Bluephage, por su parte, ha llevado a África su sistema de detección de bacterias en el agua, y la start-up catalana Moiras Biodesign ha creado un 'kit' basado en biosensores que analiza una muestra de sangre e identifica los patógenos causantes de la sepsis -una inflamación potencialmente mortal- y sus resistencias, un proceso que habitualmente requiere hasta cinco días de análisis en el laboratorio.

### El ISGlobal de Barcelona coordina el proyecto europeo NOMORFILM

Destaca también la actividad de centros de investigación como el Barcelona Institute for Global Health, ISGlobal. Coordina el proyecto europeo NOMORFILM cuyo objetivo es identificar compuestos bioactivos de microalgas marinas que muestren actividad de biopelícula antibacteriana y utilizar dichas moléculas para la fabricación de prótesis. ISGlobal es parte de una Asociación de Investigación Internacional Interdisciplinaria (IRP) para abordar la resistencia a los antimicrobianos como una amenaza para la salud global en evolución focalizada en el desarrollo e implementación de acciones en los países

con menos ingresos para generar datos confiables en relación con la resistencia a los antimicrobianos. En la actualidad, este grupo de investigación trabaja en un mapeo de resistencias en el África subsahariana, una de las regiones donde la información sobre este fenómeno es escasa, y en el desarrollo de una red de conocimiento en la región mediterránea, que incluye la creación de un Observatorio de la Salud<sup>19</sup>.

En la Joint Programming Initiative on Antimicrobial Resistance (JPIAMR)<sup>20</sup> de la Unión Europea, están presentes la Universitat Autònoma de Barcelona y el CSIC. La primera, forma parte del proyecto Anti-Persistencia que objetivo estudia los mecanismos de las bacterias patógenas para regular el estrés que están involucrados en la persistencia desde una perspectiva basada en la biología celular, estructural y bioquímica integradora para descubrir antibióticos novedosos. Y el segundo trabaja en el proyecto MT14MDR-TB para desarrollar un nuevo antibiótico disponible por vía oral que mejore los regímenes actuales para pacientes con tuberculosis resistente a los medicamentos.

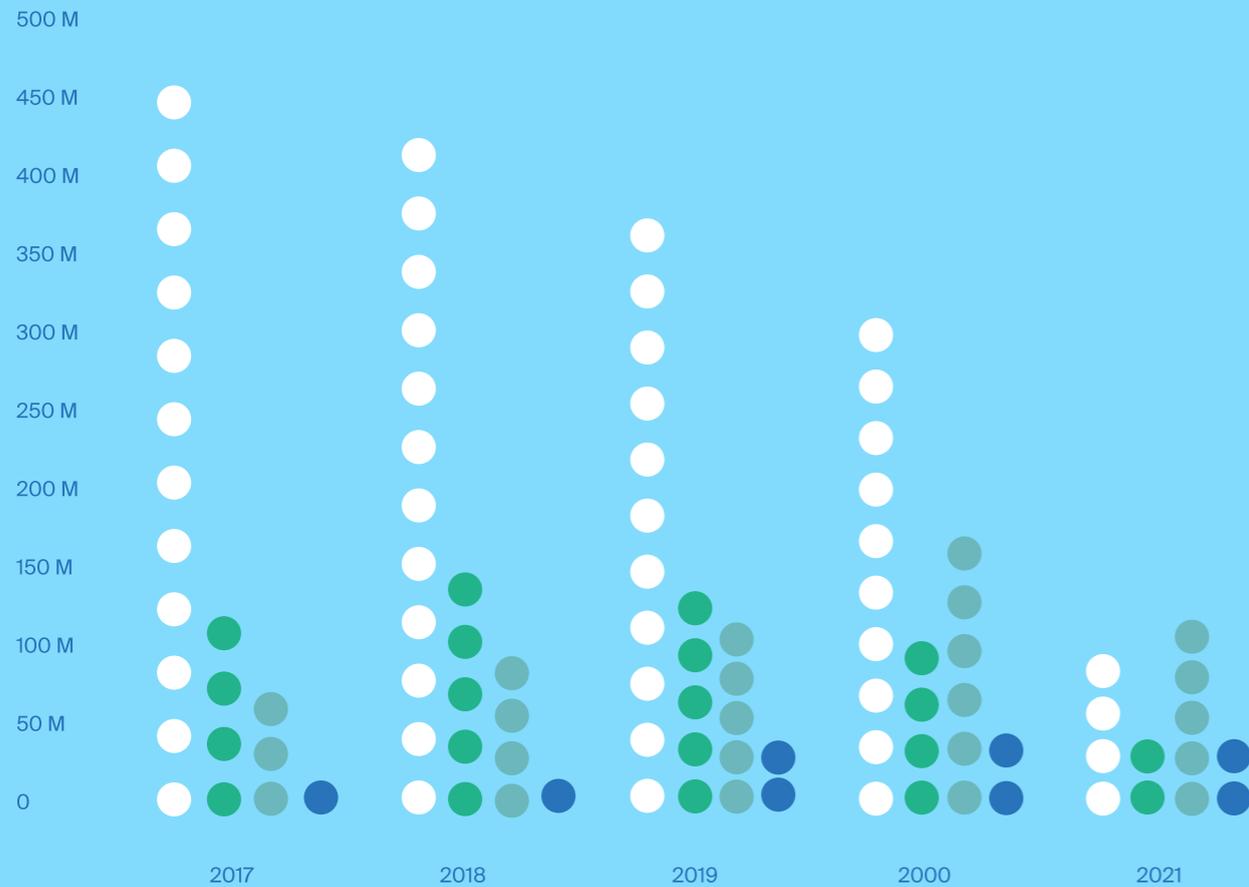
Entre las empresas de base tecnológica de nuestro país destaca Vaxdyn, una spin-off del Hospital Universitario Virgen del Rocío, en Sevilla, y del Instituto de Biomedicina, fundada en 2011, que propone crear una vacuna polivalente, efectiva contra varias de las bacterias resistentes a los antibióticos. SynCell biotechnology se centra en combatir la resistencia de las bacterias usando nanopartículas, ya que éstas son ideales para interactuar con organismos tan pequeños, y a la vez se puede evitar que hagan daño a las células sanas<sup>21</sup>.

Desde el ICN2 en Barcelona se coordina el proyecto PHITBAC, financiado por el Ministerio de Ciencia e Innovación dentro de los fondos Next Generation, centrado en proporcionar avanzadas tecnologías de nanobiosensores POC (Point of Care) para la detección rápida de bacterias patógenas relevantes, incluida la identificación in situ de su perfil de resistencia a antibióticos y un seguimiento personalizado de la eficacia de la terapia antimicrobiana. El proyecto incluye centros académicos, empresas y hospitales.

Fuente: R.E. Glover et al, The Lancet, 2021, 2, E637, DOI: 10.1016/S2666-5247(21)00182-8

**FIGURA 4.**

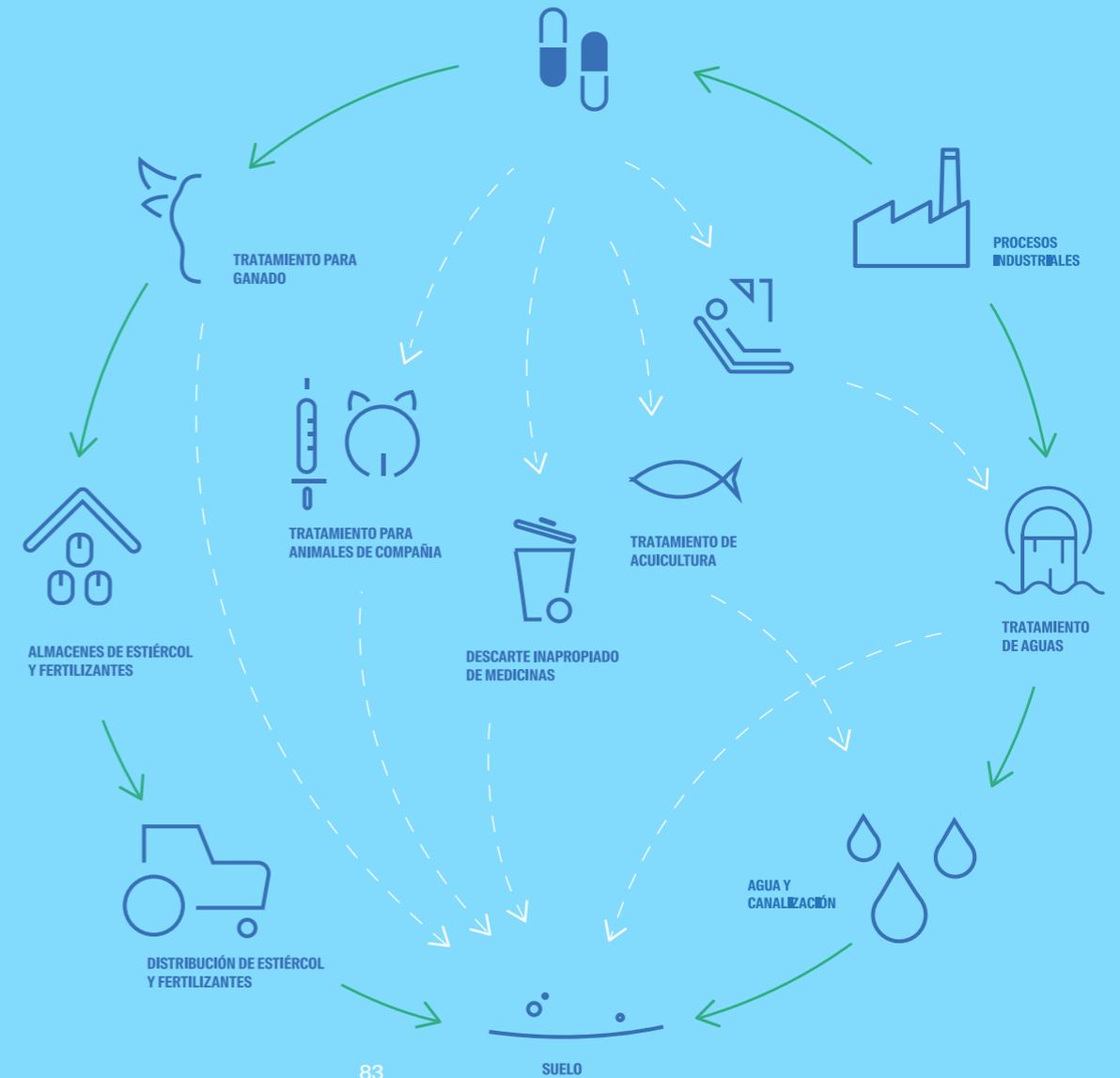
**INVERSIÓN EN NUEVOS ANTIBIÓTICOS.** ESTE GRÁFICO DETALLA LAS INVERSIONES PÚBLICAS (AZUL), PRIVADAS (BLANCO), MIXTAS (VERDE) Y OTRAS (GRIS) EN EL DESARROLLO DE NUEVOS ANTIBIÓTICOS PARA BACTERIAS RESISTENTES. EL TOTAL EXCEDE LOS 3.000 MILLONES DE DÓLARES EN LOS ÚLTIMOS CINCO AÑOS, SIN EMBARGO NECESITAMOS UN ESFUERZO MAYOR PARA EVITAR LA PROLIFERACIÓN DE ORGANISMOS MULTIRRESISTENTES.



Fuente: EMBO Reports

**FIGURA 5.**

**FUENTES DE ANTIBIÓTICOS.** LOS ANTIBIÓTICOS NO SOLO PROVIENEN DE TRATAMIENTOS MÉDICOS, TAMBIÉN DE MUCHAS OTRAS FUENTES, INCLUIDAS LA AGRICULTURA Y GANADERÍA. LA CONTAMINACIÓN DEL MEDIO AMBIENTE CON ANTIBIÓTICOS TAMBIÉN FAVORECE LA APARICIÓN DE NUEVAS RESISTENCIAS Y NUEVAS ESPECIES DE BACTERIAS MULTIRRESISTENTES.





## Aplicación e impacto

### Financiar la I+D para hacer viabiles antibióticos de “re- serva”

La innovación en tratamientos contra las bacterias resistentes tiene que superar todavía a un complejo Valle de la Muerte. El coste total de desarrollar un antibiótico con diez años en el mercado se estima en 1.700 millones de dólares, pero en la actualidad no hay forma de recuperar la inversión en el desarrollo de este tipo fármacos, ya que los nuevos antibióticos a menudo generan menos de 25 millones de dólares al año en ventas<sup>22</sup>. Aunque iniciativas como el Fondo de Acción AMR<sup>23</sup> lanzado en 2020 por 23 empresas biofarmacéuticas y entidades no gubernamentales, con 1.000 millones de dólares de presupuesto y el objetivo de entregar hasta cuatro antibióticos nuevos para fines de la década, ayuden a cerrar la brecha financiera que existe hasta el registro previo al mercado, muchas empresas no podrán sobrevivir las fases siguientes, a menos que tengan ingresos adecuados para sostener su cadena de suministro de productos, financiar los estudios necesarios posteriores al registro y pagar a sus inversores.

El motivo es que casi todos los nuevos tratamientos antibacterianos muy probablemente acabarán siendo catalogados como antibióticos de “reserva” en la clasificación AWaRe (Acceso, Vigilancia, Reserva) de la OMS, lo que limita su volumen de venta<sup>24</sup>. Los antibióticos deben usarse adecuadamente para preservar su eficacia y retardar el desarrollo de resistencia. Como consecuencia de ello, muchos antibióticos nuevos se reservan como último recurso, a fin de preservar las opciones clínicas para los pacientes que fracasan con los antibióticos existentes. Todo ello explica que, actualmente, haya

aproximadamente 40 antibióticos en desarrollo clínico, de los cuales solo unos pocos se consideran novedosos, y que solo se ha lanzado una nueva clase de antibióticos en las últimas décadas. Otros 21 productos antibacterianos no tradicionales y 12 agentes antifúngicos se encuentran también en desarrollo clínico<sup>25</sup>.

De modo que, en realidad, una parte sustancial de la innovación en la lucha contra las bacterias resistentes a los tratamientos actuales debería consistir en encontrar fórmulas adecuadas para financiar la actividad de I+D. Pese a que cuesta encontrar un área del mercado con más garantías de ‘demanda’. Cada año, al menos 700.000 personas mueren a causa de infecciones resistentes a los antimicrobianos (AMR), 25.000 de ellas en Europa, donde el exceso de costes sanitarios anuales se estima en alrededor de 1.600 millones de euros. Y si la situación no se controla, el número anual de muertes podría aumentar hasta los 10 millones en 2050. Una persona morirá cada 3 segundos por una infección multiresistente, con un impacto económico equivalente al de la crisis financiera de 2008.<sup>26</sup> En ese sentido, el reciente informe del Sistema Mundial de Vigilancia de la Resistencia y el Uso de los Antimicrobianos (GLASS) de la OMS confirma que la resistencia a los antibacterianos está aumentando, específicamente en países de ingresos bajos y medianos, causando una mortalidad y morbilidad significativas<sup>27</sup>.

*700.000 personas mueren cada año (25.000 en Europa) a causa de infecciones resistentes*

A pesar de todas esas evidencias, una de las entidades más activas en impulso de la I+D, la AMR Industry Alliance, afirma en el avance del cierre de actividad de 2021 que el 32% de sus miembros esperan disminuir la inversión si las condiciones del mercado no mejoran<sup>28</sup>. No ayuda el hecho de que desde 2018, se hayan descolgado de la investigación grandes empresas biofarmacéuticas, como Novartis, Sanofi y AstraZeneca, ni las quiebras financieras de alto perfil de Achaogen, tras el registro de plazomicina y, más recientemente, de Melinta, empresa con un amplio portfolio de antibacterianos en desarrollo y cuatro productos comerciales.

Otra entidad de referencia es la iniciativa Combating Antibiotic-Resistant Bacteria Biopharmaceutical Accelerator (CARB-X), con sede en la Universidad de Boston. Está participada por el Departamento de Salud y Servicios Humanos de Estados Unidos, la organización benéfica británica Wellcome Trust, el Gobierno de Alemania, el Fondo GAMRIF del Gobierno del Reino Unido y la Fundación Bill y Melinda Gates, y dispone de una capacidad de inversión de 500 millones de euros. De las solicitudes recibidas en sus tres rondas de financiación, el 43,9% provinieron de empresas de menos de 10 empleados y otro 25,3% de pequeñas empresas con menos de 50 empleados. Apenas el 15% de las solicitudes llegaron de empresas medianas y grandes, mientras que el 16,4% lo hizo de universidades y organizaciones sin fines de lucro<sup>29</sup>.

### *Plan de Acción Mundial de la OMS.*

Desde 2010 se han lanzado 16 nuevos tratamientos antibacterianos en EE.UU., solo dos en Japón y apenas uno de los dos aprobados por Canadá. De los 16 que recibieron el visto bueno de la Agencia Europea de Medicamentos, se han puesto en marcha 13, aunque algunos no están disponibles en todos los países de la UE. El Plan de acción mundial (GAP) de la OMS sobre la resistencia a los antimicrobianos, acordado en 2015, se marcó el objetivo de alcanzar un “caso económico sostenible” durante la siguiente década. Pero aún no existe una hoja de ruta por países que pueda ser implementada a partir de 2023 para cumplir esa previsión en 2025. Las cinco organizaciones de investigación clínica más grandes tienen una capitalización de 24.800 millones de dólares, 40 veces menor que la de las cinco compañías farmacéuticas más grandes (1,9 billones).

¿Cómo deberían ser los nuevos incentivos económicos que den confianza al sector privado para invertir en I+D al nivel necesario para crear una sólida cartera de antibióticos frente a bacterias resistentes? Deberían incorporar un sistema de valoración y reconocimiento de los antibióticos ampliado, que contemple toda su aportación a la sociedad, porque actualmente están infravalorados. Y deberían incluir también nuevas formas de reembolso a las empresas innovadoras teniendo en cuenta la personalización de los tratamientos, el acceso de los pacientes al antibiótico más adecuado para tratar o prevenir su infección. Según diversos estudios, a nivel mundial, el volumen de incentivos tendría que moverse en el rango de los 1.000 a 4.000 millones de dólares por cada nuevo antibiótico lanzado con éxito. Algunas propuestas e iniciativas piloto recientes

incluyen recompensas específicas que van en esa dirección. El proyecto de ley PASTEUR anuncia premios de entre 750 y 3.000 millones de dólares por antibiótico novedoso en EE.UU., que se unen en ese país a propuestas de precios más altos y garantías de exclusividad<sup>30</sup>; y el Reino Unido ha señalado que su modelo de pago por suscripción, si escala a nivel mundial (Suecia también tiene uno similar), tendría un valor de entre 3.500 y 4.000 millones de dólares por nuevo antibiótico durante 10 años.

### *Tasas de resistencia más altas.*

La pandemia de Covid-19 ha llegado como un recordatorio del tremendo daño económico y social que pueden desencadenar las enfermedades infecciosas. Entre las víctimas de Covid-19 se encuentran algunos de los avances logrados en la resistencia a los antimicrobianos, ya que se los sigue recetando para los virus, y las tasas de resistencia entre los medicamentos utilizados para tratar infecciones comunes son cada vez más altas. La resistencia a los antimicrobianos de primera línea la están desarrollando los patógenos que causan el VIH, la malaria y la fiebre tifoidea, lo que amenaza el progreso mundial en materia de salud<sup>31</sup>. La solución a la financiación de la innovación en AMR es más necesaria que nunca.

El mercado global de pruebas de susceptibilidad a los antimicrobianos se estima en 3.040 millones de dólares en 2020 y se prevé que alcance los 4736,03 millones de dólares para 2030, lo que supone una tasa de crecimiento anual compuesto (CAGR) del 5,8 % de 2021 a 2030. Los principales factores que impulsan este mercado son la creciente prevalencia de infecciones causadas por patógenos bacterianos y el uso excesivo de antibióticos, lo que conduce a la resistencia a los antibióticos en los organismos bacterianos; el desarrollo de mejores estándares para la susceptibilidad fúngica; y el creciente uso de sistemas comerciales rápidos de AST (prueba de susceptibilidad antimicrobiana) para pruebas de hongos<sup>32</sup>.

### *Evitar el uso innecesario.*

No obstante, hay otras enormes problemas a superar. Muchas tecnologías de diagnóstico actuales son efectivas, pero costosas; requieren mucho tiempo; no detectan marcadores de resistencia emergentes; no permiten obtener un cultivo vivo y puro de la bacteria; y no discriminan rápidamente las infecciones bacterianas o fúngicas de las virales. Se necesitan investigaciones e inversiones adicionales para mejorar las pruebas de diagnóstico y los datos que generan. Tener información sobre la resistencia en el momento en que el paciente recibe tratamiento

por primera vez ayuda a orientar el uso de antibióticos de amplio espectro a aquellos pacientes con infecciones resistentes cuando lo necesitan y evita su uso innecesario en aquellos que no los precisan<sup>33</sup>.

El Centro Europeo para la Prevención y el Control de Enfermedades (ECDC) ha estimado que, hasta la fecha, entre el 30% y el 50% de todos los antimicrobianos recetados a pacientes humanos son innecesarios, y esa prescripción excesiva promueve aún más el desarrollo y la propagación de la resistencia. Existen dos necesidades diagnósticas básicas que deben cubrir las pruebas AST. En primer lugar, la de que los médicos identifiquen rápidamente los antibióticos que pueden usarse para tratar con éxito a los pacientes infectados con patógenos bacterianos. Y, en segundo lugar, la evaluación epidemiológica, es decir, la detección de mecanismos de resistencia fenotípica y el seguimiento de su propagación<sup>34</sup>.

*Entre el 30% y el 50% de todos los antimicrobianos recetados a pacientes humanos son innecesarios*

Para ello, uno de los problemas a resolver por la tecnología es la disponibilidad de AST en el punto de atención (POC), el punto de necesidad o el punto de impacto, ya que de momento es escasa y el precio por prueba y los costes del equipo son determinantes importantes para su implementación. El cumplimiento de POC AST con los criterios ASSURED de la OMS (asequible, sensible, específico, fácil de usar, rápido y robusto, sin equipo, entregable a los usuarios), que resulta especialmente relevante para los países de bajos y medianos ingresos, no se alcanzará pronto. De hecho, todos los criterios ASSURED, aunque diseñados para garantizar la máxima implementación de pruebas POC en el mercado objetivo, plantean barreras para su desarrollo. A todo ello se suman los obstáculos derivados de la gestión de la propiedad intelectual y las bases de datos, los aspectos regulatorios y la necesidad de conocimientos especializados. El resultado es que varias pequeñas empresas han tenido éxito en el desarrollo de pruebas diagnósticas porque han podido asociarse con compañías más grandes en las etapas finales de desarrollo.



Fuente: Guidehouse Insights

FIGURA 6.

**LA POLÍTICA EN ESPAÑA.** HASTA 2020, ESPAÑA CUMPLÍA CASI TODOS LOS REQUISITOS DE CONTROL DE NUEVAS BACTERIAS RESISTENTES, EXCEPTO EL DESARROLLO DE UN SISTEMA DE VIGILANCIA GLOBAL. LAS TASAS DE RESISTENCIA INCLUYEN AISLAMIENTOS CATEGORIZADOS COMO RESISTENTES O INTERMEDIOS EN LAS PRUEBAS DE SUSCEPTIBILIDAD A LOS ANTIMICROBIANOS. EL ÍNDICE DE RESISTENCIA A LOS MEDICAMENTOS (DRI) ES UNA MEDIDA AGREGADA QUE COMBINA EL USO DE ANBIÓTICOS Y LA RESISTENCIA EN UNA SOLA MÉTRICA, CON UN VALOR DE 0 QUE INDICA EL 100% DE SUSCEPTIBILIDAD Y UN VALOR DE 100 QUE INDICA EL 100% DE RESISTENCIA. PARA CONTEXTUALIZAR EL DATO DE ESPAÑA, PUEDE SERVIR ESTE GRÁFICO

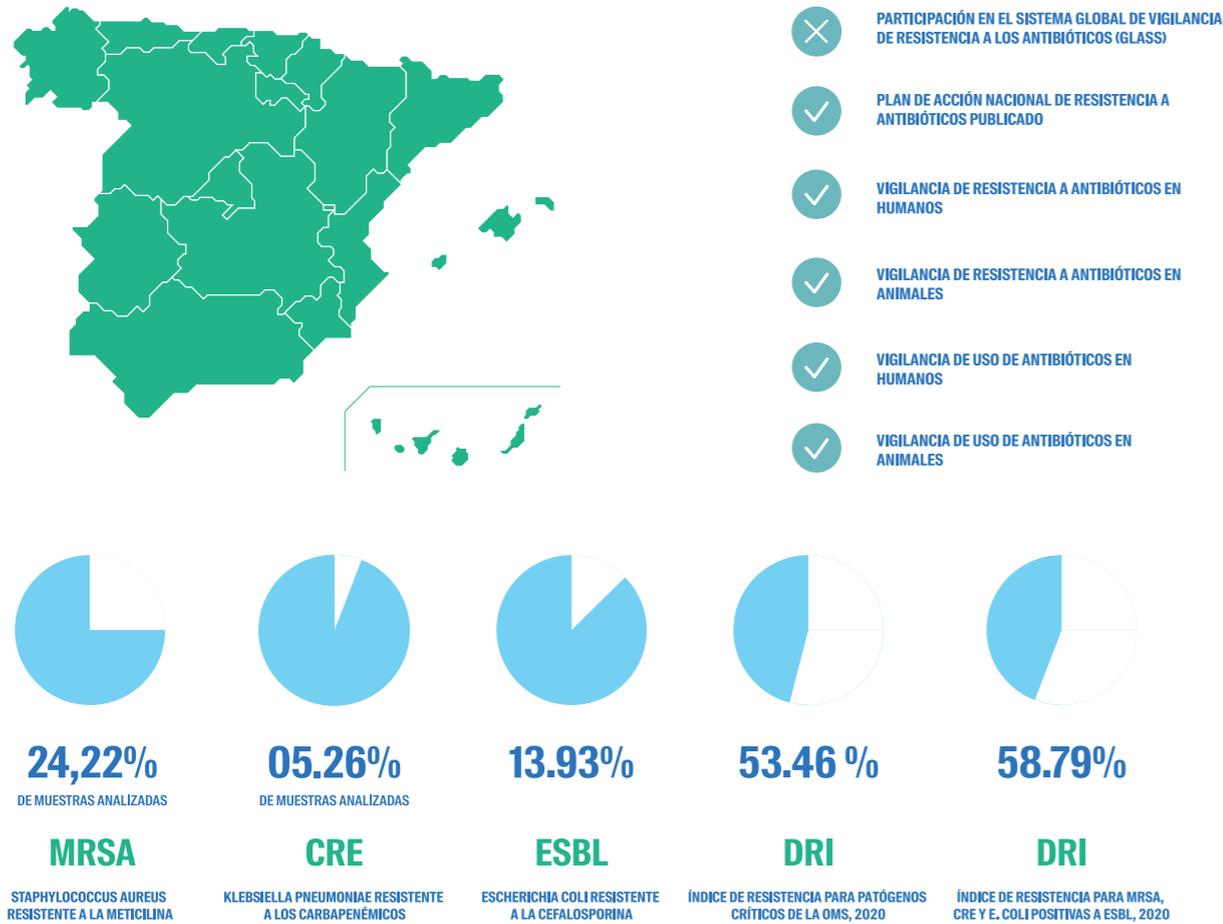


FIGURA 7.

LOS PATÓGENOS CRÍTICOS DE LA OMS SON ENTEROBACTERIACEAE CON BLEE POSITIVO, ENTEROBACTERIACEAE RESISTENTE A CARBAPENEM, ACINETOBACTER BAUMANNII RESISTENTE A CARBAPENEM Y PSEUDOMONAS AERUGINOSA RESISTENTE A CARBAPENEM.

Fuente: CDDEP

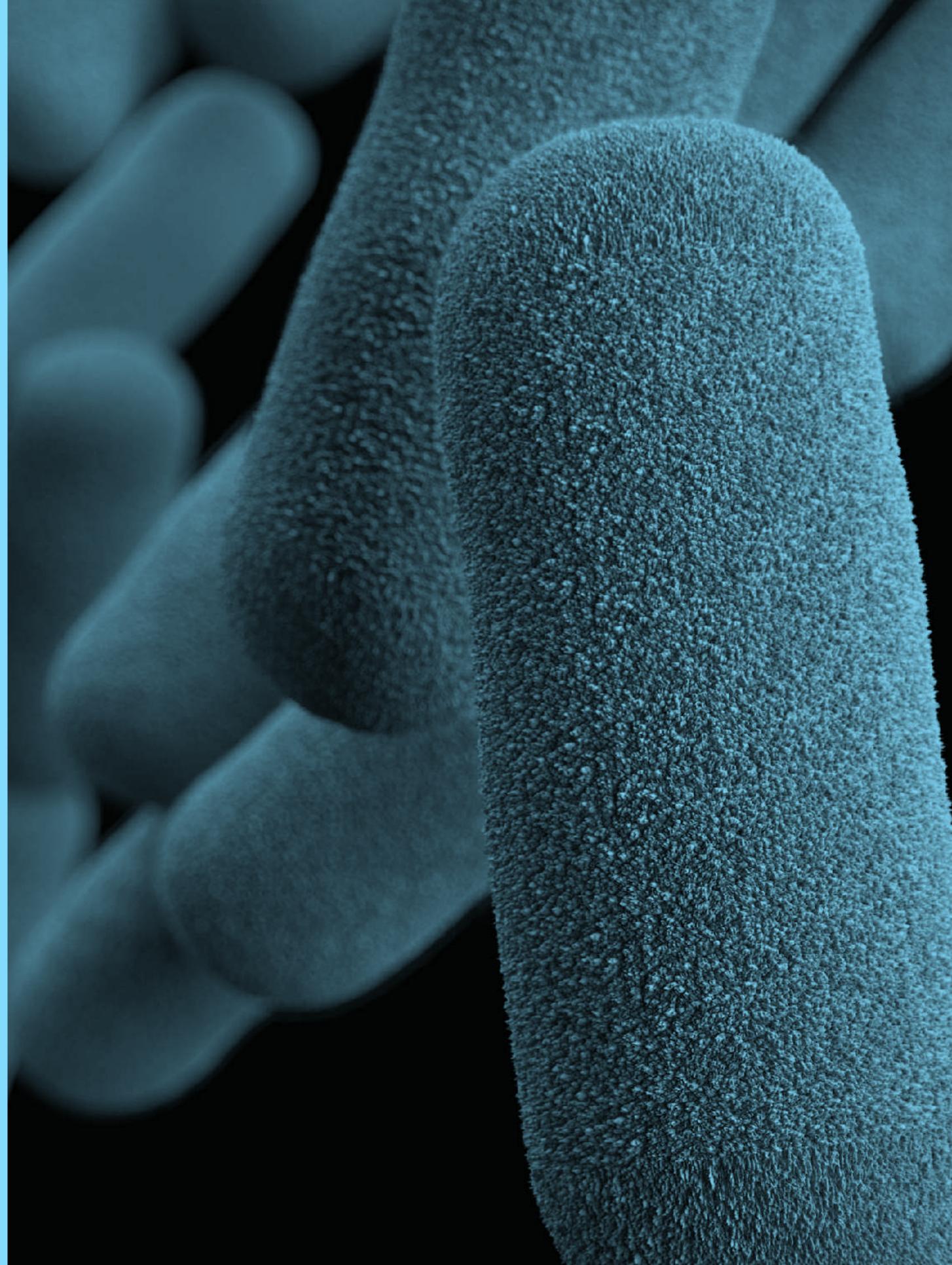
NIVEL ADQUISITIVO ALTO  
 NIVEL ADQUISITIVO BAJO Y MEDIO





## *Conclusiones*

Probablemente, la próxima pandemia esté relacionada con infecciones causadas por bacterias multirresistentes. Cada vez hay más variantes de este tipo de patógenos, y por tanto es fundamental desarrollar tecnologías avanzadas tanto para la detección precoz como para el tratamiento eficaz. Esta tendencia corresponde con las apuestas de los diferentes mercados y de las agencias de financiación, que destacan la importancia de frenar el avance de las bacterias multirresistentes cuanto antes. De lo contrario, podríamos retroceder décadas, y volver a un mundo en el que heridas menores e infecciones comunes tienen consecuencias letales.





# 03. Movilidad inteligente

Electrificación y conducción autónoma en vehículos inteligentes para ciudades conectadas y sostenibles

- / Materiales semiconductores
- / Informática e inteligencia artificial
- / Tecnologías avanzadas en baterías
- / Vehículos autónomos



- / Reducción emisiones
- / Ciudades más sostenibles y conectadas
- / Mejora de la seguridad



## En clave

La crisis climática ha desencadenado un rediseño total de los medios de transporte. Las ventas de vehículos eléctricos se han disparado, los trenes de alta velocidad han resurgido como alternativa a la aviación, y las tecnologías avanzadas en baterías son la gran esperanza para el transporte marítimo sostenible. Además, los nuevos descubrimientos en materiales semiconductores, informática e inteligencia artificial facilitarán el progreso de los vehículos autónomos, que cambiarán cómo nos desplazamos y cómo diseñamos las ciudades del futuro. En resumen, estamos a las puertas de una revolución. La revolución del transporte inteligente.

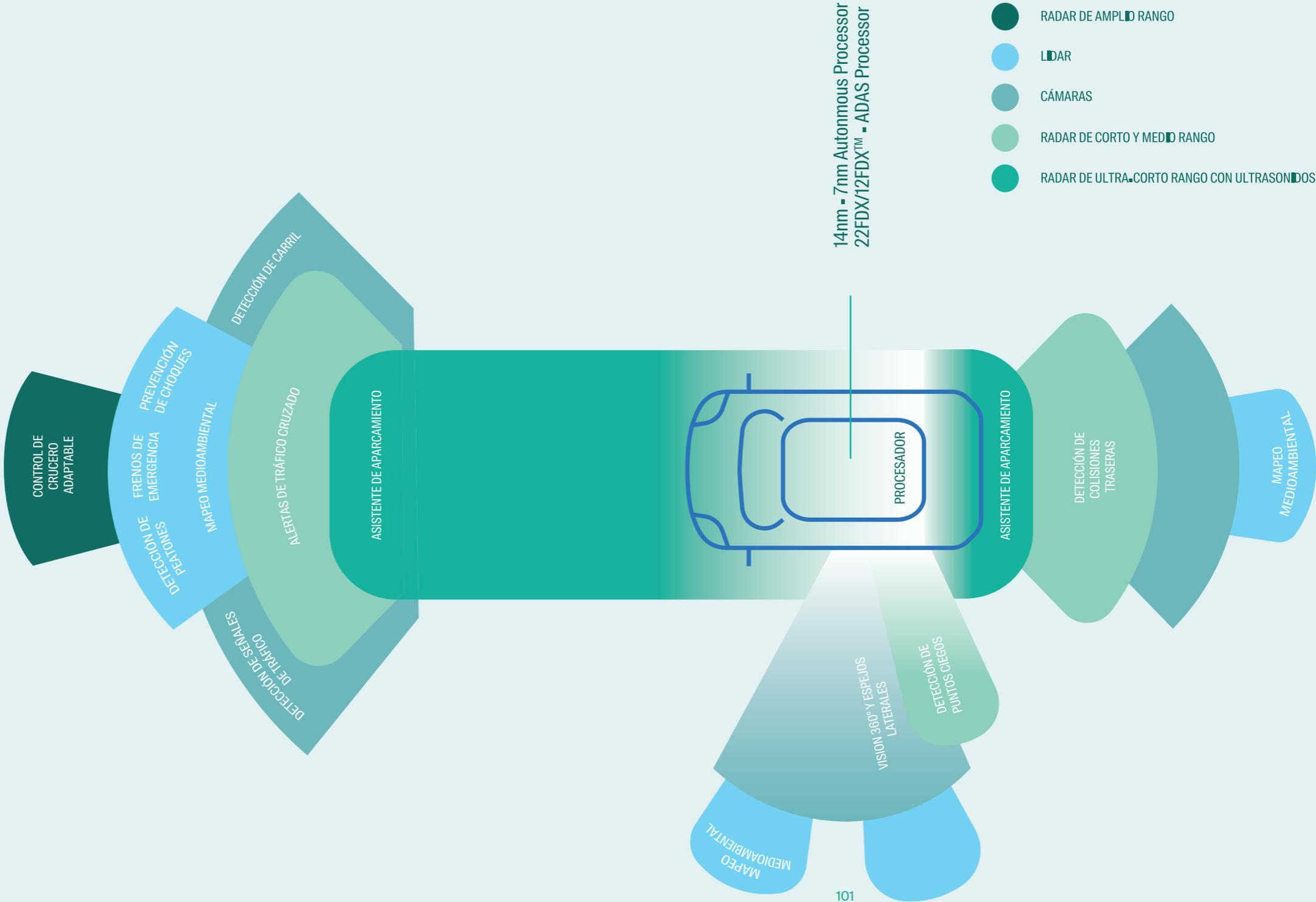


## La tecnología

### Electrificación y conducción autónoma en vehículos inteligentes para ciudades conectadas y sostenibles

El transporte inteligente es una categoría muy amplia, que engloba varias tecnologías diferentes, desde baterías eficientes para la electrificación hasta nuevos algoritmos de inteligencia artificial. En general, todos estos avances contribuyen a tres pilares básicos: la seguridad, la sostenibilidad y la conectividad<sup>1</sup>.

En primer lugar, hay que destacar la importancia de los procesos de electrificación. Sustituir los motores de gasolina y diésel por motores eléctricos es un paso fundamental para garantizar la descarbonización y evitar el avance de la crisis climática<sup>2</sup>. En 2020 las ventas de coches eléctricos alcanzaron los 3 millones de unidades, lo que representa un crecimiento del 40% frente al año anterior. El crecimiento del sector es imparable. Según las predicciones de la Agencia Internacional de la Energía (IEA), en 2030 estos vehículos coparán más de la mitad de las ventas<sup>3</sup>. Por supuesto, una tecnología clave para lograr este objetivo son las baterías, especialmente las de estado sólido y las basadas en elementos más allá del litio. También resultarán fundamentales los avances en energía renovable y supercargadores de alta potencia, dispositivos que conviertan el repostaje eléctrico en algo tan rápido y rutinario como las visitas a la gasolinera. En este sentido destaca la estación de recarga impulsada por Repsol en Ugaldebieta, Vizcaya, que cuenta con 400 kW de potencia y permite recargas completas en cuestión de pocos minutos<sup>4</sup>. La electrificación también revolucionará el transporte de mercancías por tierra, mar y aire. Sin embargo, en todos estos casos existen todavía retos descomunales en



el desarrollo de baterías que sean al mismo tiempo ligeras y duraderas. A pesar de la mala fama de coches y aviones, uno de los sectores más contaminantes es el transporte marítimo, responsable de un 3% de las emisiones globales de gases de efecto invernadero. Electrificar los buques de mercancías – así como encontrar combustibles alternativos como el hidrógeno verde y el amoníaco – podría tener un impacto muy positivo. Las empresas más optimistas, como Amazon y Unilever, están trabajando juntas para conseguir un transporte marítimo neutro en carbono antes de 2040, una década antes de lo establecido por el Acuerdo de París<sup>5</sup>. Además, electrificar por completo nuestros medios de transporte podría tener una sorprendente e inesperada ventaja: dado que alrededor del 50% del transporte marítimo consiste en el envío de crudo, combustibles fósiles y productos derivados, acabar con la demanda de estas sustancias provocaría una reducción inmediata – y por partida doble – de la contaminación atmosférica. El efecto mariposa de la electrificación<sup>6</sup>.

### *En 2030 los vehículos eléctricos coparán más de la mitad de las ventas*

Los vehículos autónomos también forman parte de los avances hacia un transporte inteligente y más sostenible. En realidad, estos aparatos han formado parte de nuestras vidas mucho tiempo: la mayor parte de los aviones comerciales operan con pilotos automáticos y muchas líneas de metro en ciudades como Londres, París y Madrid cuentan con trenes sin conductor. Sin embargo, las tecnologías de conducción autónoma todavía escasean en nuestras carreteras. Algunos modelos comercializados por Google y Tesla pueden circular solos en ciertas circunstancias<sup>7</sup>, pero su uso todavía no está generalizado, sobre todo por la falta de legislación y normativa al respecto<sup>8</sup>. Pero, ¿cómo funcionan exactamente estos vehículos para poder conducir sin piloto? La realidad es complejísima, una combinación de cámaras, sensores, y microprocesadores de alto rendimiento capaces de procesar la información recibida en tiempo récord. Las cámaras, por ejemplo, captan mucha más información que las máquinas de fotos que incorporan nuestros teléfonos móviles. Normalmente, los ojos de los coches autónomos ven mucho más allá gracias a sensores de amplio espectro



que detectan radiación infrarroja, de forma similar a las cámaras de visión nocturna. Estos sensores permiten obtener imágenes de la carretera en alta resolución y gran contraste incluso en condiciones de escasa visibilidad. También consiguen identificar obstáculos vivos con facilidad, dado que los cuerpos calientes resplandecen en las imágenes térmicas, algo que permite que los sistemas de conducción autónoma sean extremadamente seguros. Normalmente, estos sensores de luz infrarroja están basados en materiales semiconductores como el arseniuro de indio y galio, aunque la tendencia actual consiste en reemplazar estas sustancias, escasas y altamente contaminantes, por alternativas más ecológicas como el grafeno. La spin-off Qurv, con sede en Barcelona, desarrolla nuevos sensores para coches autónomos más sostenibles y 'plug-and-play', listos para incorporar directamente a vehículos comerciales. Las estimaciones de Qurv predicen sensores infrarrojos hasta mil veces más baratos que las alternativas actuales, algo que podría acelerar la adopción de esta tecnología<sup>9</sup>. Además de las cámaras infrarrojas, otro avance fundamental para los coches autónomos son los sistemas LIDAR – unos dispositivos similares al radar que, en lugar de ondas sonoras, utilizan la emisión y detección de rayos de luz. Como el radar, el LIDAR emite pulsos en todas las direcciones alrededor del coche y recoge todos los rayos reflejados y rebotados en los objetos a su alrededor. Como la luz viaja casi un millón de veces más rápido que el sonido, los LIDAR obtienen resultados prácticamente en tiempo real, y son capaces de detectar no sólo obstáculos en la carretera, sino también detalles tan sutiles como las señales de tránsito de un ciclista<sup>10</sup>.

### *Inteligencia Artificial.*

Otro ingrediente fundamental para la movilidad inteligente es la inteligencia artificial. Esta tecnología imita ciertas capacidades humanas, como el reconocimiento de objetos y la conceptualización, utilizando ordenadores y piezas de software conocidas como algoritmos. Uno de los mayores avances en este campo, según el fabricante de coches Mercedes-Benz, ha sido el desarrollo de las tecnologías de aprendizaje profundo, un conjunto de sistemas de aprendizaje automático que permiten a los vehículos procesar conceptos más complejos, así como adquirir progresivamente nuevas capacidades conforme descubren sus alrededores<sup>11</sup>. La inteligencia artificial permite a los vehículos autónomos procesar toda la información que reciben de los sensores y tomar decisiones informadas para la conducción auto-

mática. Uno de los proyectos pioneros en utilizar esta tecnología fue el coche robótico Stanley, desarrollado por investigadores de la Universidad de Stanford, EE.UU., en el año 2005. Este coche utilizaba diferentes algoritmos para detectar obstáculos, esquivarlos, y también para mantenerse dentro de la carretera. Más adelante, los mismos científicos pasaron a formar parte del equipo de Google para desarrollar sus sistemas de vehículos autónomos, conocidos como Waymo. Actualmente, estos coches cuentan con más de diez millones de kilómetros a sus espaldas, una información valiosísima que ha servido para alimentar a los algoritmos y sistemas de aprendizaje profundo con billones de puntos de datos sobre conducción, interacciones, comportamiento de los peatones, y mucho más. Gracias a estos entrenamientos, las tasas de error han disminuido y, por tanto, ha mejorado la seguridad asociada a estos vehículos<sup>12</sup>. Pronto, gracias a los avances en tecnologías como la comunicación 5G y el internet de las cosas, estos sistemas alcanzarán nuevos niveles de precisión. Además de recolectar información de sus propios sensores, los vehículos inteligentes estarán en constante comunicación entre ellos de forma prácticamente inmediata. También podrán interconectarse con sensores y controladores en ciudades, carreteras, estaciones meteorológicas, GPS y mucho más. Del mismo modo que las redes de trenes y metros envían y reciben información en tiempo real para evitar colisiones, el 5G y el internet de las cosas crearán redes de vehículos autónomos y otros dispositivos para mejorar la eficiencia del transporte.

La movilidad inteligente es más segura, más eficiente y más rentable. Además, gracias a los rápidos intercambios de información, permite una gestión de recursos más eficaz, los problemas pueden identificarse de forma casi inmediata y las soluciones pueden implementarse de manera remota, a través de mensajes electrónicos y comunicaciones digitales. Algunas regiones, como la ciudad de Nueva York o el estado de Wyoming ya cuentan con programas piloto del Departamento de Transporte de los EE.UU. Cada vez estamos más cerca de convertir el transporte inteligente en una realidad que aprovecha diferentes tecnologías emergentes para crear un mundo conectado y global, pero más sostenible.



## Retos y Oportunidades

El futuro pasa por la digitalización del automóvil, lo que mejorará la seguridad y reducirá las emisiones

Los vehículos dejaron de ser hace tiempo construcciones puramente físicas y sólo del ritmo al que avance la conectividad dependerá la rapidez del proceso de digitalización. En 2030, se espera que un automóvil tenga de promedio alrededor de 300 millones de líneas de código, que ascenderían a 500 millones en el caso de los vehículos autónomos<sup>13</sup>. El proceso de fabricación se desarrolla ya, de hecho, tanto en el mundo físico como en el digital: hoy en día, el primero todavía representa más del 60% del valor, mientras que el software y los servicios constituyen el resto, pero la evolución prevista es que el precio del hardware sufra una presión a la baja, en línea con la democratización de los componentes industriales del sector del automóvil, mientras que los sistemas de visión artificial, la robótica, la navegación, la conectividad, el procesamiento de datos y la inteligencia artificial se irán convirtiendo en los elementos básicos y, a medida que mejoren, pasarán a ser tan importantes, si no más, como el propio vehículo físico. Todavía resulta complicado hacer una estimación precisa sobre el impacto económico de este fenómeno, por las dificultades para establecer el valor, la densidad y el acceso a los datos, pero diferentes estudios estiman que este valor estará entre los 450.000 y los 750.000 millones de dólares ya en 2030<sup>14</sup>. Un indicador: General Motors planea contratar a 3.000 ingenieros de sistemas eléctricos, software para la información, entretenimiento y controles, así como a desarrolladores para Java, Android e iOS.

### *Conectividad transfronteriza.*

La explosión de la nueva generación de vehículos conectados y autónomos estará condicionada a la disponibilidad de una infraestructura adecuada para el movimiento de los datos. En diversas zonas del mundo se investiga, por ejemplo, en sistemas de traspaso de conectividad transfronteriza sin problemas para permitir el uso de sistemas de control remoto y control directo, y consorcios como MEC4AUTO, 5G-Blueprint y 5GAA Network Reelection Improvements (NRI) trabajan ya en ello<sup>15</sup>. Hay que crear asimismo un marco normativo adecuado para la gestión de los datos, que va más allá de los, también imprescindibles, estándares tecnológicos. El nuevo ecosistema debe permitir que los proveedores de servicios puedan usar los datos del vehículo conectado, al tiempo que preservar la elección del cliente sobre qué información comparte, con quién y con qué propósito. La industria pide para ello un nuevo marco articulado en torno al principio de acceso justo y no discriminatorio y al principio de

no monitorización de los flujos de datos que debe garantizar a todas las partes relevantes que los fabricantes no controlen el uso comercial de los datos<sup>16</sup>.

## La Declaración Verde Europea exige una reducción del 90% en las emisiones del transporte

A este proceso de transformación de la movilidad se suma otro de enorme carga disruptiva. La Comisión Europea se ha fijado el objetivo de liderar la transición hacia una economía neutra en carbono y ha establecido el objetivo de cero emisiones netas para 2050. La Declaración Verde Europea asigna un papel central al sector de la automoción en esta agenda y le exige una reducción del 90% en las emisiones del transporte. El desafío es enorme porque las estimaciones del Consejo Internacional para el Transporte Limpio indican que las políticas actuales solo generarían reducciones de emisiones del tubo de escape del 24% para 2030 y del 53% para 2050, y para vehículos pesados vehículos, las emisiones de CO<sub>2</sub> disminuirían solo un 9% para 2030 y un 19% para 2050 en relación con 2020<sup>17</sup>.

Fuente: Jeff Desjardins y CSIS.

FIGURA 2.

**LA PROGRAMACIÓN DEL TRANSPORTE INTELIGENTE.** PROGRAMAR LOS VEHÍCULOS 'SIN CONDUCTOR' REQUIERE DIEZ VECES MÁS CÓDIGO QUE EL GRAN DETECTOR DE HADRONES DEL CERN, Y CASI CINCO VECES MÁS CÓDIGO QUE LOS COCHES TRADICIONALES EN 2020. POR ESO ES UN RETO COMPLEJO.

### ¿CUÁNTOS MILLONES DE LÍNEAS DE CÓDIGO NECESITA?



Fuente: PWC

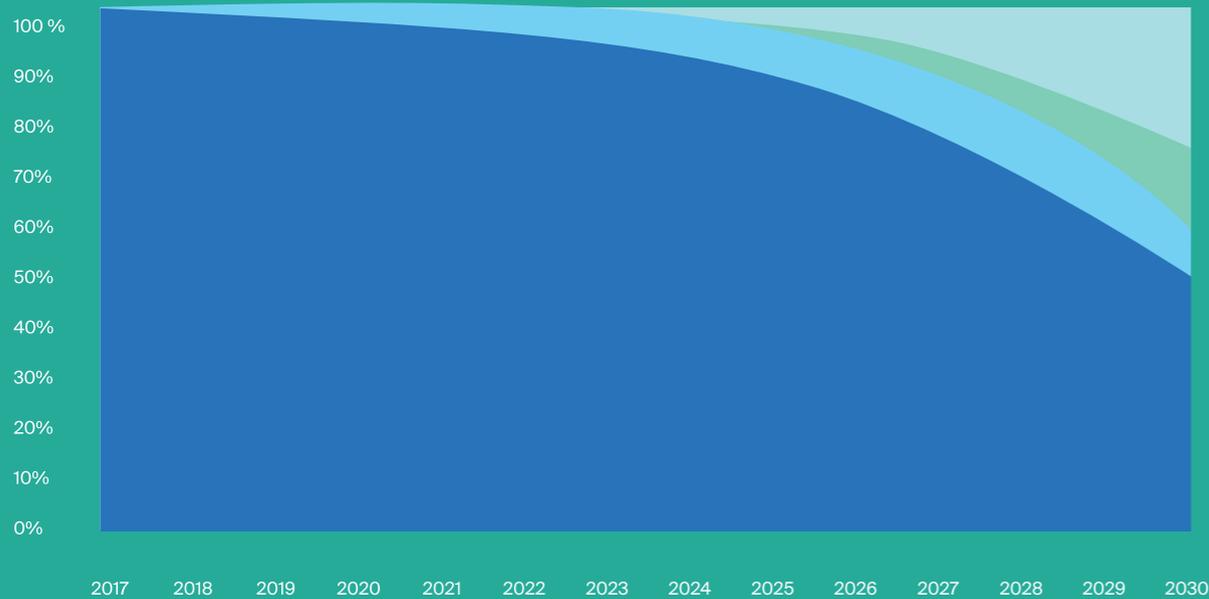
FIGURA 3.

**EL FUTURO DE LOS COCHES AUTÓNOMOS.** EN 2030, LOS VEHÍCULOS INTELIGENTES Y AUTÓNOMOS REPRESENTARÁN ALREDEDOR DEL 50% DE LA FLOTA EN CIRCULACIÓN. SIN EMBARGO, LA GRAN MAYORÍA SERÁN VEHÍCULOS DE TRANSPORTE COMPARTIDO Y TRANSPORTE PÚBLICO, A MENU-DO CONECTADOS CON SENSORES DEL INTERNET DE LAS COSAS DISTRIBUIDOS POR LA CIUDAD.

- VEHÍCULO PRIVADO AUTOCONDUcido
- VEHÍCULO COMPARTIDO AUTOCONDUcido
- VEHÍCULO PRIVADO AUTÓNOMO
- VEHÍCULO COMPARTIDO AUTÓNOMO

EUROPA: PORCENTAJE DE FORMAS DE MOVILIDAD

2017 - 2030



Una encuesta a altos cargos de 167 ciudades en 82 países, que representan a 526 millones de personas, pone de relieve el interés por las soluciones tecnológicas que promueven la movilidad inteligente. El 88% de ellos identifican la inversión en plataformas en la nube como un requisito urgente; el 66% de las ciudades están invirtiendo en IA y el 80% tiene previsto hacerlo especialmente en el área de asistentes digitales y chatbots; y el 31% de las ciudades tenía previsto invertir en gemelos digitales, un 300% más que en 2019. La movilidad inteligente promete satisfacer la necesidad de transporte inmediato y flexible entre los usuarios, especialmente en los centros de las ciudades, pero con frecuencia se olvida un aspecto crucial al hablar de ella: la accesibilidad. Más de un tercio de la población europea está formada por personas con movilidad reducida que se enfrentan constantemente a obstáculos y muchas opciones de movilidad inteligente (como bicicletas compartidas o scooters) son utilizadas predominantemente por un solo grupo de personas: adultos jóvenes bien educados que viven en áreas urbanas, tienden a no tener hijos y poseen uno o ningún automóvil por hogar. Además, uno de los principales desafíos comunes que impactan a estos grupos específicos es la seguridad, ya que en 2020, más de la mitad de los ciclistas y peatones fallecidos en accidentes (57,5%) tenían al menos 65 años y de todos los ocupantes de turismos fallecidos en accidentes, más del 25% pertenecía a este grupo de edad<sup>27</sup>.

*El sector automovilístico europeo lidera la inversión mundial en I+D, con 57.400 millones de euros al año*

En cuanto a la relación de la movilidad inteligente con el desarrollo y la integración de los barrios de las ciudades, hay un enorme margen de crecimiento. Un estudio realizado en Estados Unidos revela que uno de cada cuatro afroamericanos que viven por debajo de la pobreza no puede acceder a una tienda de comestibles en transporte público y son más los que tienen acceso a los servicios de atención médica si viven en el centro de las ciudades a través del transporte público en comparación con los blancos y otras personas de color. Uno de los

problemas para abordar la comprensión integral de los problemas de equidad en la movilidad inteligente son las brechas en la disponibilidad de los datos. Los operadores privados, como Uber y Lyft, se han resistido a compartir datos sobre la disponibilidad del servicio y los usuarios, y de hecho algunas ciudades han negociado la publicación de los datos de este tipo de compañías como requisito para autorizar sus servicios<sup>28</sup>.

En cuanto al impacto en la vida de los ciudadanos, se prevén cambios en muy diversos órdenes, lo cual representa una oportunidad para los innovadores. En EE. UU. se ha estimado que el coste por milla de un vehículo ACES podría ser de 50 centavos en 2030, en comparación con los 1,31 dólares de un autobús tradicional en la actualidad. Abaratar el transporte público ayudará a conectar barrios en las ciudades y dar oportunidades de empleo a colectivos para los que antes eran inaccesibles debido a la falta de transporte público y los gastos asociados con las opciones de transporte privado. Se calcula que podría mejorar drásticamente el acceso para aproximadamente 50 millones de personas con discapacidad en los EE. UU. y para 50 millones mayores de 65 años. Los taxis autónomos en Tokio, que emplean IA para la optimización de rutas y la coincidencia entre conductor y pasajero, redujeron costes y aumentaron el acceso a viajes compartidos en áreas remotas.

Las comunicaciones instantáneas con la infraestructura de transporte, incluidos los semáforos “inteligentes”, ha demostrado reducir los tiempos de viaje en un 25% debido al recorte del 30% en paradas y tiempo de espera. La monitorización del flujo de vehículos con inteligencia artificial aumenta la velocidad del tráfico entre un 8% y un 13% y la adopción de vehículos con asistencia automatizada en navegación, estacionamiento y eliminación de choques incrementaría las capacidades efectivas de los carriles de las carreteras hasta en un 80% y permitiría estrechar los espacios de estacionamiento en un 15%. Los sistemas de transporte público basados en vehículos autónomos se presentan también como la estrategia más sostenible en áreas urbanas e impulsan los viajes compartidos lo que podría permitir una “reverdecimiento” de las ciudades, introduciendo espacios verdes y mejorando la seguridad en el centro urbano mediante la reasignación de zonas para carriles para bicicletas y zonas peatonales más seguras.

Curiosamente, se prevé que el kilometraje personal en Europa podría aumentar en un 23% para 2030, hasta los 5,88 billones de kilómetros en desplazamientos (24% en EE. UU. y 183% en China), pero se requerirán menos vehículos, pasando de los 280 millones de actuales en el continente a 200 millones en 2030<sup>30</sup>. Además, los automóviles conectados también podrían cambiar la forma en que las personas usan su tiempo de conducción. Más del 50 % de los encuestados para un informe dijeron que preferirían escuchar música, hablar por teléfono, ver videos o navegar por internet mientras viajaban en automóvil<sup>31</sup>.



## *El potencial de España*

**Proyectos públicos para intercambio de datos y privados para un tráfico más dinámico**

En cuanto a España, el Gobierno ha puesto en marcha el proyecto DGT 3.0 Plataforma de Vehículos Conectados para el intercambio de datos y la comunicación entre vehículos e infraestructuras. El sistema recibe información de múltiples fuentes, la procesa y la pone a disposición de los fabricantes de automóviles y operadores de servicios públicos, que a su vez ofrecerán a los vehículos información individualizada en tiempo real. Colaboran cinco proveedores de datos, incluidos Here Technologies y TomTom, en este proyecto que se desarrolla en paralelo a otro de V2I, junto a Telefónica y SEAT, y analiza oportunidades para aumentar la seguridad vial de los ciclistas. La DGT gestiona 13.000 km de fibra óptica en carreteras interurbanas españolas, que monitoriza con cerca de 10.000 dispositivos como cámaras, lectores de matrículas, aforadores y estaciones meteorológicas<sup>18</sup>.

### *Ferrovial lidera el proyecto Aivia para mejorar la infraestructura física de corredores viales*

Ferrovial, por su parte, cuenta con el apoyo de Microsoft, 3M y Kapsch TrafficCom en el proyecto Aivia para mejorar la infraestructura física de los distintos corredores. Para 2026, esta empresa se propone gestionar el tráfico de una forma más dinámica, mejorando la flexibilidad de la red, con el objetivo de reducir congestión y contaminación. Y Abertis trabaja en un tramo de 34 kilómetros entre los peajes de Fornells y Vilademuls (en Girona) como banco de pruebas de dos proyectos europeos innovadores: I+D Inframix y C-Roads Spain que buscan crear carreteras inteligentes donde se puedan realizar ensayos de conducción autónoma con datos móviles y tecnología de última generación 5G.

Fuente: Geotab

FIGURA 4.

**TENDENCIAS EN MOVILIDAD INTELIGENTE.** ESTE GRÁFICO REPRESENTA LAS NUEVAS TENDENCIAS EN MOVILIDAD Y TRANSPORTE INTELIGENTES EN ESPAÑA. MUCHAS DE LAS SOLUCIONES CONLLEVAN NUEVAS INTERACCIONES ENTRE LOS VEHÍCULOS Y SU ENTORNO, ESTAS CONEXIONES PERMITIRÁN NUEVAS INFRAESTRUCTURAS AUTOMATIZADAS MÁS EFICIENTES. A TRAVÉS DE LA INTELIGENCIA ARTIFICIAL SE DETECTARÁN POSIBLES FALLOS MECÁNICOS Y HÁBITOS DE CONDUCCIÓN PELIGROSOS, LO QUE PERMITIRÁ REDUCIR LA SINIESTRALIDAD. POR ÚLTIMO, LOS SISTEMAS INTELIGENTES CONTRIBUIRÁN A REDUCIR DE LAS EMISIONES DE CO<sub>2</sub> DEL 30% EN 2030, EN LÍNEA CON LOS OBJETIVOS DE SOSTENIBILIDAD.

## TENDENCIAS EN MOVILIDAD INTELIGENTE EN ESPAÑA EN 2022

**2022: EL AÑO DE LA ÚLTIMA MILLA** <sup>1</sup>  
EN ZONAS DE BAJAS EMISIONES

### PARA 2023

- ✓ PLANIFICACIÓN DE LAS RUTAS
- ✓ EVOLUCIÓN DE LOS VEHÍCULOS
- ✓ MANTENIMIENTO DE LA CADENA DE FRÍO

**CRECIMIENTO DEL PARQUE AUTOMOVILÍSTICO DE VEHÍCULOS ELÉCTRICOS EN EL PAÍS** <sup>2</sup>

**NUEVAS SOLUCIONES VEHÍCULO A INFRAESTRUCTURA (V2I)**

"INTERCAMBIO DE INFORMACIÓN ENTRE EL VEHÍCULO Y SU ENTORNO"

**5 MILLONES EN 2022**

**150.000 HASTA 2021**

### 2022

EN FUNCIÓN DE LOS HÁBITOS DE CONDUCCIÓN

ACCESO A LA LLAVE DE VEHÍCULOS COMPARTIDOS

ABONO A LAS TARIFAS DE PEAJE

CÁLCULO DEL PRECIO DE LAS PÓLIZAS DE SEGUROS

### 2026

OBLIGATORIEDAD DEL TACÓGRAFO DIGITAL

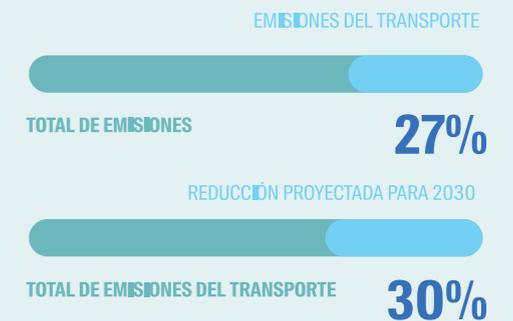
**IA: ALIADO PARA EL MANTENIMIENTO PREDICTIVO**

- ! **ANÁLISIS Y DETECCIÓN DE TELEMÁTICO DE:**
- ✓ POSIBLES FALLOS MECÁNICOS
- ✓ REDUCCIÓN DEL RIESGO DE SINIESTRALIDAD
- ✓ HÁBITOS DE CONDUCCIÓN ARRIESGADOS

**+2 PUNTOS** <sup>4</sup> EN EL CARNÉ DE CONDUCCIÓN

LLEVAR A CABO PROACTIVAMENTE CURSOS DE CONDUCCIÓN SEGURA Y EFICIENTE

**REDUCCIÓN DE EMISIONES DE TRANSPORTE** <sup>3</sup>



1. Ley de Cambio climático y Transición Energética  
 2. Plan Integrado de Energía y Clima  
 3. Ministerio de Transportes, Movilidad y Agenda Urbana  
 4. Ley de Tráfico, Circulación de Vehículos y Seguridad Vial



## Aplicación e impacto

### Barrios mejor conectados, reducción de tiempos y más espacio para bicicle- tas y peatones

Las baterías son el principal componente de coste único de los BEV (Battery Electric Vehicle), con un peso de alrededor del 40% del total en 2020, pero ninguno de los diez principales productores mundiales de baterías de iones de litio (Li-ion) para vehículos eléctricos era europeo en 2021. El mercado está dominado por China con el 77% de la capacidad global. Hay razones para pensar en un cambio de dirección, y los expertos consideran que la diversificación geográfica se acelerará a medida que más países se conviertan en productores de baterías de iones de litio dada la preferencia de fabricar cerca de los mercados debido al peso y el coste de envío<sup>20</sup>. La European Battery Alliance, creada en 2017, promueve inversiones en capacidad de fabricación y consorcios industriales y las instituciones europeas esperan que la capacidad de producción europea sea suficiente para satisfacer sus necesidades y alcance el 20-25% del suministro mundial en 2030. Northvolt, el proyecto europeo de baterías más ambicioso, avanzado y estratégico ya tiene acuerdos de suministro con Volkswagen, BMW y Volvo y VW, Stellantis y Renault han anunciado planes para desarrollar sus propias capacidades de producción de baterías.

#### *Cadena de suministro.*

La transformación del parque de vehículos europeo en eléctrico, conectado y autónomo (ACES) no será inmediata, tomará unas décadas; de hecho, podría ser significativamente más grande si los gobiernos aceleraran los esfuerzos para alcanzar los objetivos climáticos. En el Escenario de Desarrollo Sostenible, la flota

mundial de vehículos eléctricos podría alcanzar los 230 millones de unidades en 2030<sup>21</sup>, pero las previsiones del mercado están por debajo de esa cantidad. No obstante, la dinámica es poderosa y tendrá pronto impactos en la cadena de suministro, configurada en muchas regiones en forma de clústers, así como en los hábitos de transporte de la propia ciudadanía, lo que impulsará nuevos modelos de negocio. Hay casos de reconversión de territorios enteros, como el del valle de Mahoning en el noreste de Ohio (EE. UU.), que ha pasado de ser un centro para la producción de acero, a rebautizarse como “Voltage Valley” y albergar cientos de nuevas empresas de tecnología de energía y una de las plantas de baterías de vehículos eléctricos más grandes del país. También en Estados Unidos, Pittsburgh se ha especializado en la atracción de múltiples compañías emergentes del sector del vehículo autónomo, muchas de las cuales están bien conectadas con la Universidad Carnegie Mellon<sup>22</sup>. En ese país se estima que la combinación de incentivos gubernamentales y cambios regulatorios para fomentar la adopción del vehículo autónomo y eléctrico, incluso a través de inversiones en tecnologías e infraestructura subyacentes, como minerales críticos o semiconductores, podría crear más de 220.000 empleos e inducir otros 425.000 entre uno y cinco años<sup>23</sup>.

El sector automovilístico europeo quiere entrar en esta carrera. No en vano lidera la inversión mundial en I+D, con 57.400 millones de euros al año, equivalente al 28 % del gasto total en I+D de la UE, y acumula el 37,2% de todas las solicitudes de patentes relacionadas con vehículos autónomos desde 2011<sup>24</sup>.

Fuente: KPMG

FIGURA 5.

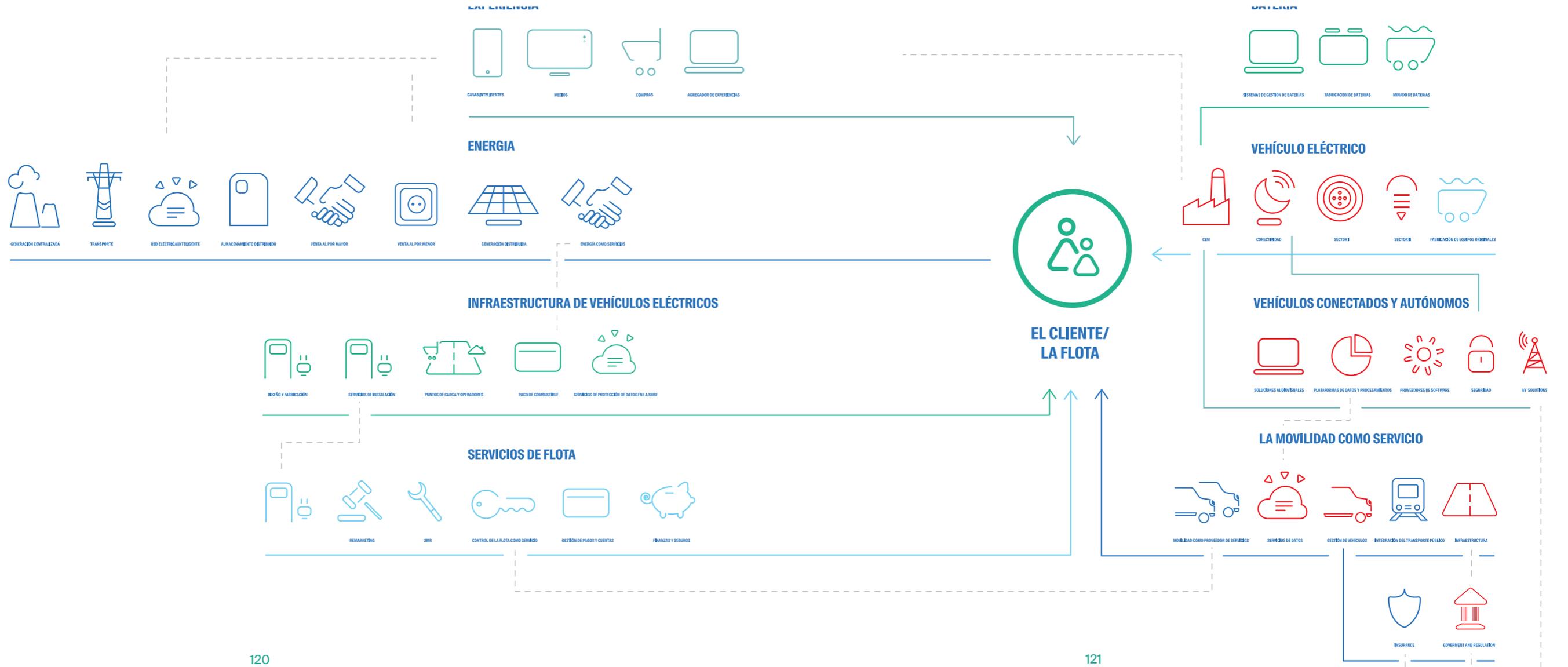
**LOS DATOS COMPARTIDOS Y LA FUNCIONALIDAD. LA MOVILIDAD INTELIGENTE VA MUCHO MÁS ALLÁ DE LOS COCHES SIN CONDUCTOR. INVOLUCRA A UN GRAN NÚMERO DE ACTORES, QUE INTERACCIONAN E INTERCAMBIAN DATOS PARA GARANTIZAR UN ESCENARIO MÁS SOSTENIBLE Y SEGURO. ESTA GRÁFICA SIMPLIFICA ALGUNOS DE LOS PARTICIPANTES EN ESTE ECOSISTEMA.**

**EL ECOSISTEMA DE LOS AUTOMÓVILES SE VUELVE CADA VEZ MÁS COMPLEJO CUANDO SE COMPARTEN DATOS ENTRE LOS DIFERENTES ACTORES**

El ecosistema del automóvil consta de un gran número de participantes, un complejo conjunto de actores independientes, servicios y funcionalidades.

En esta figura presentamos el ecosistema desde el punto de vista del consumidor, mostrando una imagen completa de servicios y categorías. La funcionalidad más relevante es la digitalización de la comunidad entre vehículos y la infraestructura del transporte, situada en la parte derecha de la figura. Las funciones directamente afectadas por este "viaje digital" están resaltadas en rojo.

El desarrollo de servicios y funcionalidad necesitará regulaciones eficaces, pero justas, por parte de las autoridades. Además, serán necesarios procesos de estandarización y coordinación entre autoridades, fabricantes y otros actores.





## *Conclusiones*

Estamos a las puertas de una revolución en el mundo del transporte. Muchos avances, que ya están implantados exitosamente en las redes ferroviarias y los aviones comerciales, como la interconectividad entre vehículos y la conducción automática, llegarán al mundo del automóvil. Además, el desarrollo de las energías limpias y los avances en baterías de gran capacidad y autonomía acelerarán la electrificación del sector, convirtiendo nuestra forma de movernos en algo más sostenible. Por otro lado, tecnologías como los nuevos sensores infrarrojos, el LIDAR, la inteligencia artificial y el 5G darán paso al transporte inteligente. Estos sistemas nos ayudarán a paliar los efectos de la crisis climática pero, sobre todo, ofrecerán alternativas de transporte mucho más seguras y eficientes. El futuro del transporte ya está aquí.



1. Ministerio de transportes, movilidad y agenda urbana (n.d.). **“Sistemas inteligentes de transporte”**. Consultado el 2 de febrero de 2022.

2. M. Gómez Blanco. **“El largo camino hacia la electrificación del transporte”**. El Motor, 12 de noviembre de 2020. Consultado el 2 de febrero de 2022.

3. IEA (2021). **“Electric vehicles”**. Consultado el 2 de febrero de 2022.

4. Repsol (2019). **“Repsol inaugura la estación de recarga de vehículos eléctricos de mayor potencia de Europa”**. Consultado el 2 de febrero de 2022.

5. S. Caminiti. **“Why the next electric battery boom may be in cargo ships”**. CNBC, 26 de octubre de 2021. Consultado el 2 de febrero de 2022.

6. B. McKibben. **“The happiest number I’ve heard in ages”**. The Crucial Years, 7 de enero de 2022. Consultado el 2 de febrero de 2022.

7. Tesla (n.d.). **“Autopilot and Full Self-Driving Capability”**. Consultado el 2 de febrero de 2022.

8. F.J. Falcone-Lanas. **“Si ya existen vehículos autónomos, ¿por qué no circulan aún por las carreteras?”** The Conversation, 16 de junio de 2021. Consultado el 2 de febrero de 2022.

9. Printed Electronics World (2021). **“Graphene Flagship spin-off Qurv Will Develop Imaging Technology”**. Consultado el 2 de febrero de 2022.

10. J. Port. **“LIDAR: how self-driving cars ‘see’ where they’re going”**. Cosmos Magazine, 11 de enero de 2022. Consultado el 2 de febrero de 2022.

11. Mercedes-Benz (n.d.). **“Computer brains and autonomous driving. How artificial intelligence makes cars fit for the future.”** Consultado el 2 de febrero de 2022.

12. IHS Markit (2020). **“Artificial intelligence driving autonomous vehicle development”**. Consultado el 2 de febrero de 2022.

13. Jack Caporal, William O’Neil y Seán Arrieta-Kenna, **“Bridging the Divide: Autonomous Vehicles and the Automobile Industry”**, Center for Strategic & International Studies, 14 de abril de 2021. Consultado el 3 de enero de 2022

14. KPMG y Statens Vegvesen, **“Automotive Data Sharing”**, 16 de octubre de 2020. Consultado el 4 de febrero de 2022.

15. 5GAA Automotive Association, **“Tele-Operated Driving (ToD): Business Considerations”**, 12 de julio de 2021. Consultado el 3 de enero de 2022.

16. European Automobile Manufacturers’ Association, **“Access to in-vehicle data”**, 17 de noviembre de 2021. Consultado el 3 de febrero de 2022.

17. Parlamento Europeo (2021). **“The Future of the EU Automotive Sector”**. Consultado el 3 de febrero de 2022.

18. Anabel Alonso. **“Seguridad tecnológica al alcance de la mano”**. Tráfico y Seguridad Vial, 17 de marzo de 2021. Consultado el 3 de febrero de 2022.

19. <https://www.indracompany.com/en/indra/movilidad-2030>

20. S&P Global Market Intelligence (2021) **“Top electric vehicle markets dominate lithium-ion capacity growth”**. Consultado el 3 de febrero de 2022.

21. International Energy Agency (2021). **“Global EV Outlook 2021”**. Consultado el 3 de febrero de 2022.

22. Jack Caporal, William O’Neil y Seán Arrieta-Kenna, **“Bridging the Divide: Autonomous Vehicles and the Automobile Industry”**, Center for Strategic & International Studies, 14 de Abril de 2021, consultado el 3 de enero de 2022.23.

23. SAFE (2021). **“The Commanding Heights of Global Transportation”**. Consultado el 3 de febrero de 2022.

24. European Automobile Manufacturers’ Association, **“Leading de Mobility Transformation. The future of EU auto industry. 2019-2024 Manifesto”**. 5 de septiembre de 2019. Consultado el 4 de febrero de 2022

25. <https://www.oracle.com/news/announcement/pandemic-underlines-need-for-action-on-smart-city-initiatives-040821/>

26. Sam Angsthelm, Giel Mertens y Amy McCready, **“How can cities bring smart mobility for all?”**, Bax & Company

27. <https://www.bmvi.de/SharedDocs/EN/Articles/StV/Roadtraffic/road-safety-for-senior-citizens.html>

28. Linda Young, Elizabeth Irvin y Preeti Shankar, **“Equity and Smart Mobility”**, Institute for Sustainable Communities (ISC) y Center for Neighborhood Technology (CNT),

29. SAFE (2020), **“Fostering Economic Opportunity through Autonomous Vehicle”**. Consultado el 3 de febrero de 2022.

30. PwC (2018). **“Five trends transforming the Automotive Industry”**. Consultado el 3 de febrero de 2022.

31. Goldman Sachs (2015). **“The Changing Car”**. Consultado el 3 de febrero de 2022.

# 04 . Elementos críticos

Materiales abundantes, tecnologías alternativas y sistemas de reciclaje.

- / Investigación sustitutos más abundantes
- / Nuevas tecnologías no dependientes de elementos raros
- / Desarrollo tecnologías reciclaje y aprovechamiento



/"Chips act": transición ecológica sostenible



## En clave

Las materias primas son fundamentales para el desarrollo económico. Pero casi todas tienen un problema: son sustancias finitas, y usarlas de forma indiscriminada puede abocarnos a un futuro insostenible. Por tanto, es importante desarrollar nuevas tecnologías de reciclaje y aprovechamiento, así como investigar sustitutos basados en materiales más abundantes que permitan el mismo nivel de desarrollo y funcionalidades. Además, muchos de estos materiales están estrechamente relacionados con la generación de energía limpia; los planes para evitar el desabastecimiento se han convertido en una prioridad.



## La tecnología

### **Materiales abundantes, tecnologías alternativas y sistemas de reciclaje**

Todo lo que fabricamos proviene de materias primas. Los minerales, los metales, la madera y el carbón son solo algunos ejemplos de sustancias que obtenemos de vetas naturales finitas. Y muchas de ellas se han vuelto indispensables en la nueva economía digital. Por ejemplo, los teléfonos móviles inteligentes funcionan gracias a más de cincuenta elementos diferentes, como el cobalto, el oro, el antimonio, el galio, el indio y varios lantánidos y actínidos, también conocidos como “tierras raras”<sup>1</sup>. La mayor parte de estos dispositivos acaban en vertederos, ya que pocos se reciclan. De entre estos ingredientes, al menos seis se agotarán en los próximos años si no desarrollamos estrategias eficaces de recuperación. Además, muchos plantean serios retos desde el punto de vista ecológico, dado que son sustancias extremadamente tóxicas para el ser humano, algo que plantea problemas desde el momento de su extracción hasta la acumulación de desechos y la contaminación del medio ambiente. En un informe reciente, la Real Sociedad de Química del Reino Unido advertía de los riesgos derivados de usar materias primas escasas: es absolutamente necesario encontrar nuevas soluciones que utilicen otras tecnologías y, al mismo tiempo, desarrollar sistemas eficientes para la recuperación y el reciclaje<sup>2</sup>.

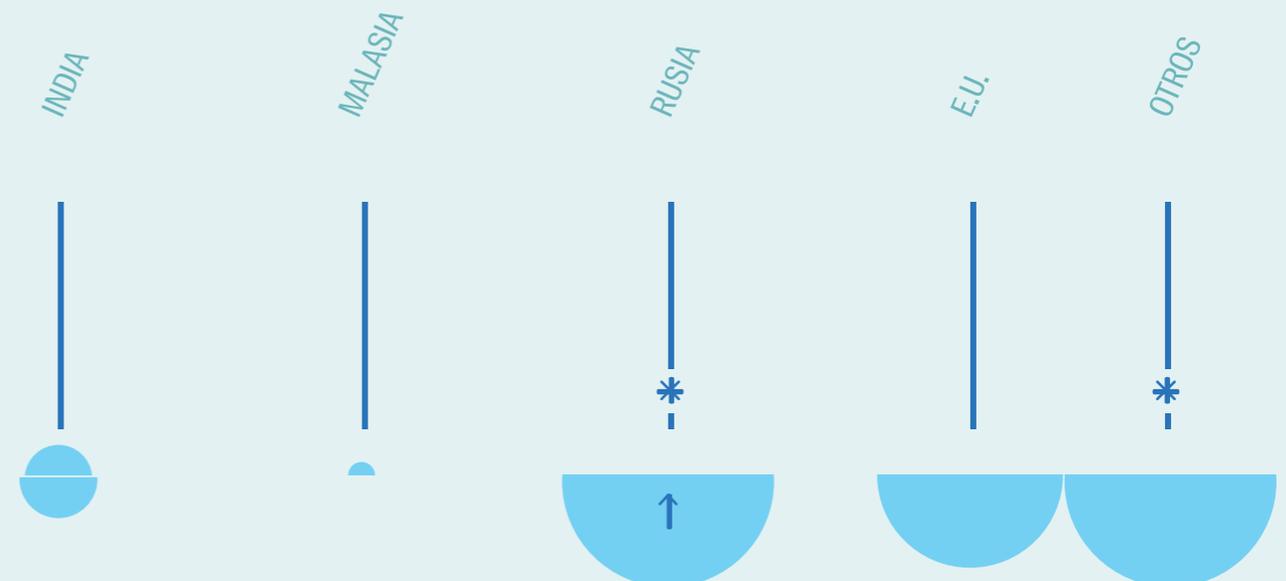
*Sin estrategias eficaces de recuperación, seis “tierras raras” se agotarán en los próximos años*

Desde 2008, la Unión Europea ha publicado varias listas de materias primas críticas. La última incluye más de treinta elementos y minerales, entre ellos el cobalto y el litio (necesarios para la fabricación de baterías), el silicio (el ingrediente principal de todos nuestros dispositivos electrónicos) y sustancias como el coque, el grafito y el látex natural. Según estos informes, los materiales críticos son clave para el desarrollo económico y el funcionamiento de los ecosistemas industriales actuales. Además, la Comisión Europea destaca la importancia de muchas de estas sustancias para alcanzar los objetivos de sostenibilidad del Green Deal. Por un lado, porque la extracción de materias primas está esquilmando el planeta; nuestro apetito de recursos naturales provoca la mitad de las emisiones de gases de efecto invernadero y está directamente relacionado con la pérdida de biodiversidad y el empeoramiento de la calidad de las aguas. Por otro lado, el avance hacia una economía verde depende directamente de la generación de energía limpia. Y, en este sentido, muchas tecnologías renovables están íntimamente relacionadas con materiales críticos. Parte de los esfuerzos en investigación y desarrollo deben dedicarse a tecnologías más limpias, más reciclables y más sostenibles<sup>3</sup>.



## ¿Para qué se utilizan?

<b>ESCANDIO</b>	COMPONENTE DE AVIONES, ALEACIONES DE ALUMINIO	<b>GADOLINIO</b>	TERAPIA CONTRA EL CÁNCER, AGENTE DE CONTRASTE EN RONANCIA MAGNÉTICA
<b>YTRIO</b>	LÁSERES, PANTALLAS DE TELEVISIÓN Y ORDENADORES, FILTROS DE MICROONDAS	<b>TERBIO</b>	ELECTRÓNICA DE ESTADO SÓLIDO, SISTEMAS SÓNAR
<b>LANTANO</b>	REFINO DE PETRÓLEO, BATERÍAS DE COCHES ELÉCTRICOS, LENTES DE CÁMARA	<b>DISPROSIO</b>	LÁSERES, BARRAS DE CONTROL DE REACTORES NUCLEARES, IMANES DE ALTA POTENCIA
<b>CERIO</b>	CATALIZADORES, REFINO DE PETRÓLEO, PRODUCCIÓN DE LENTES DE CRISTAL	<b>HOLMIO</b>	IMANES DE ALTA POTENCIA, LÁSERES
<b>PRASEODIMIO</b>	MOTORES DE AVIONES, LÁMPARAS DE ARCO	<b>ERBIO</b>	FIBRA ÓPTICA, BARRAS DE CONTROL DE REACTORES NUCLEARES
<b>NEODIMIO</b>	DISCOS DUROS, MÓVILES, IMANES DE ALTA POTENCIA	<b>THULIO</b>	MAQUINAS DE RAYOS X, SUPERCONDUCTORES
<b>PROMETIO</b>	MÁQUINAS DE RAYOS X, BATERÍAS NUCLEARES	<b>YTERBIO</b>	MÁQUINAS DE RAYOS X, SUPERCONDUCTORES
<b>SAMARIO</b>	IMANES DE ALTA POTENCIA, ETANOL, LIMPIEZA DE COMPONENTES ELECTRÓNICOS	<b>LUTECIO</b>	PROCESADO QUÍMICO, LÁMPARAS LED
<b>EUROPIO</b>	PANTALLAS DE TELEVISIÓN Y ORDENADOR, LÁSERES, ELECTRÓNICA Y ÓPTICA		





## Retos y Oportunidades

**Alternativas al silicio y nuevas técnicas de reciclaje más eficientes**

La electrónica es, posiblemente, uno de los sectores más afectados por la escasez de materiales estratégicos. Prácticamente toda la tecnología actual está basada en chips de silicio, debido a las propiedades de este material como semiconductor. No es un elemento escaso, de hecho, representa el 28% de la corteza terrestre, pero plantea varios retos geoestratégicos: la mayor parte del silicio viene de China, y por lo tanto el control político de esta sustancia escapa de las regulaciones europeas. Las alternativas al silicio vienen de combinaciones de otros elementos, como el nitruro de galio y mezclas de metales como el zinc y el mercurio. Algunos de estos materiales permiten la sustitución de nuestros dispositivos electrónicos por aparatos basados en fotónica, una tecnología que permite velocidades de procesamiento y transmisión de datos mucho más altas al usar fotones – partículas de luz – en vez de electrones<sup>4</sup>. Recientemente, la Comisión Europea anunció el lanzamiento del “Chips Act”, una campaña destinada a impulsar el liderazgo tecnológico y la competitividad para facilitar una transición digital sostenible. A través de inversiones de más de 43.000 euros, Europa planea multiplicar por dos su porción de la tarta en el mercado de los semiconductores<sup>5</sup>.

### *Europa lanza el “Chips Act” para impulsar la transición tecnológica sostenible*

También son interesantes las tecnologías desarrolladas para recuperar elementos escasos y materias primas críticas a partir del reciclaje de dispositivos electrónicos de consumo. Estas plantean grandes retos, sobre todo en la separación de los diferentes metales. Algunas soluciones utilizan fundiciones de alta temperatura y aleaciones para extraer ingredientes clave: las mezclas con plomo ayudan a separar elementos como el níquel, el estaño y el antimonio, mientras que las mezclas con cobre consiguen extraer metales preciosos como el oro, el paladio y el platino. Sin embargo, estos procesos suelen ser tediosos y conllevan gastos altísimos de tiempo y energía. Por ello, otras soluciones prefieren utilizar sustancias oxidantes como ácidos y agua oxigenada para disolver y separar las sustancias más valiosas. En este caso, el problema es la generación de residuos líquidos contaminados con metales, que suelen ser complicados de desechar sin contaminar el medio ambiente. Varios proyectos experimentales estudian utilizar la electricidad y los campos magnéticos para llevar a cabo las separaciones de una forma eficiente y limpia. Algunos estudios utilizan diferentes corrientes

eléctricas para disolver progresivamente los diferentes componentes, que luego pueden recuperarse fácilmente. Estos procesos son rápidos y, de momento, funcionan a escala de laboratorio para recuperar materiales críticos como el oro y el platino. Por otro lado, los imanes son clave para separar los elementos magnéticos de los dispositivos electrónicos, unas piezas clave de las memorias de nuestros ordenadores y teléfonos inteligentes, así como de los micrófonos, altavoces y auriculares. Muchos de estos imanes funcionan gracias a tierras raras como el neodimio y elementos estratégicos como el boro. Una vez separados del resto de residuos, podemos tratarlos para obtener nuevos imanes, así como llevar a cabo diferentes procesos de purificación para separar los ingredientes y reciclarlos para usos diferentes<sup>6</sup>. Además de los esfuerzos políticos para fomentar el reciclaje y la reutilización de dispositivos electrónicos, es importante el compromiso de la industria. En este sentido, destacan las innovaciones de Apple y su robot “Daisy”, un aparato que puede desmontar teléfonos y otros dispositivos para después separar y clasificar todos sus componentes<sup>7</sup>. De momento, la multinacional estadounidense cuenta con uno de estos sistemas en EE.UU. y otro en Europa. Ahora mismo, todos los teléfonos nuevos de Apple utilizan un 100% de materiales reciclados en piezas de oro, wolframio, estaño y tierras raras<sup>8</sup>.

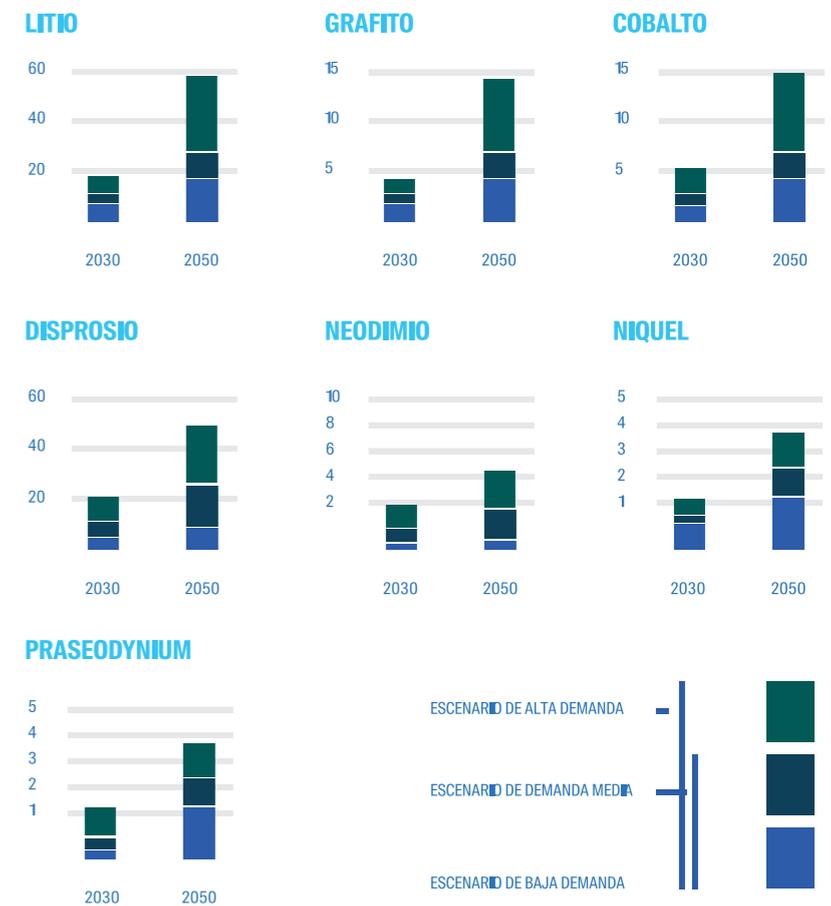
**Celdas solares sin silicio.**

También se están llevando a cabo grandes esfuerzos para eliminar y sustituir los elementos y materiales críticos de nuestros dispositivos, así como de los métodos de obtención y almacenamiento de energía. En este sector, destaca el desarrollo de celdas solares sin silicio, que funcionan gracias a unos minerales conocidos como perovskitas. También existen proyectos punteros para permitir que la futura economía del hidrógeno no dependa de materiales críticos. Para ello, tanto los electrolizadores como las celdas de combustible tienen que funcionar sin metales preciosos. A cambio, son necesarias alternativas que funcionen con elementos más abundantes como el hierro y el carbono. En el campo de las baterías se están desarrollando nuevas soluciones basadas en sodio, calcio y aluminio, sustancias mucho más abundantes que el litio y el cobalto, ingredientes clave de las baterías actuales<sup>9</sup>. Estos dos metales están incluidos en la lista de minerales críticos de la EU, sobre todo por su altísima dependencia de zonas de conflicto y prácticas de minería contaminantes y poco éticas<sup>10</sup>.

Fuente: Comisión Europea

**FIGURA 2.**

**LOS ELEMENTOS CRÍTICOS Y LAS RENOVABLES.** EL DESARROLLO DE TECNOLOGÍAS RENOVABLES (BATERÍAS, TURBINAS, PLACAS SOLARES) DISPARARÁ LA DEMANDA DE ELEMENTOS CRÍTICOS COMO EL DISPROSIO, EL NEODIMIO Y EL PRASEODIMIO. ESTE GRÁFICO MUESTRA LAS EXPECTATIVAS DE LA COMISIÓN EUROPEA: EN ALGUNOS CASOS LA DEMANDA SE TRIPLICARÁ ENTRE 2030 Y 2050, POR TANTO ES FUNDAMENTAL GARANTIZAR QUE EL CONTINENTE DISPONE DE FUENTES ABUNDANTES Y SOSTENIBLES DE MATERIAS PRIMAS CRÍTICAS.



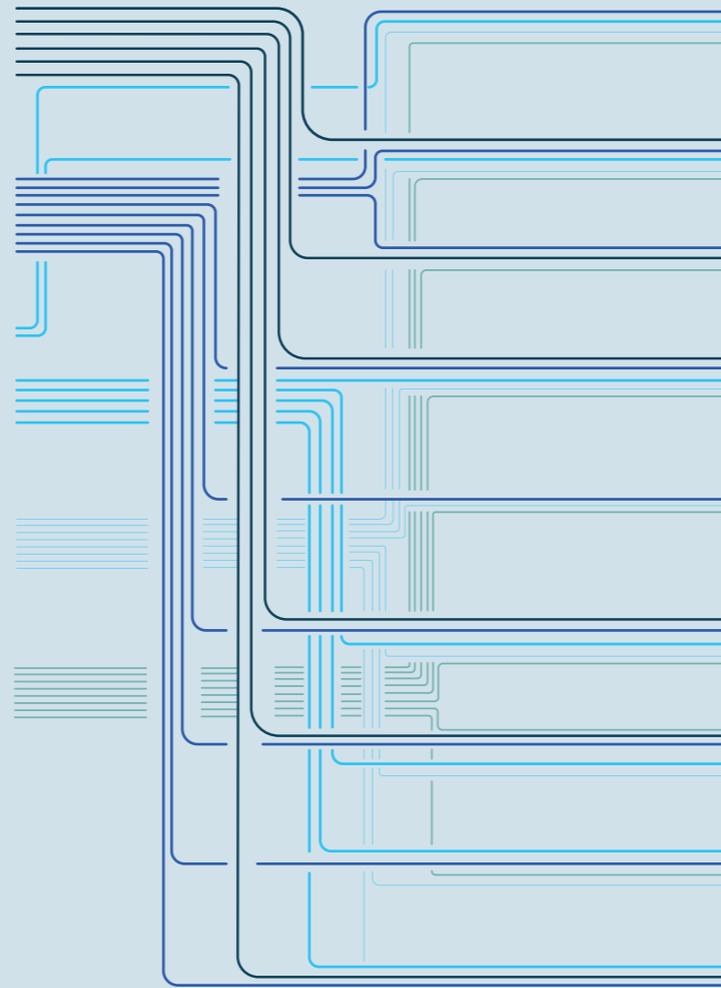
Fuente: Comisión Europea

FIGURA 3.

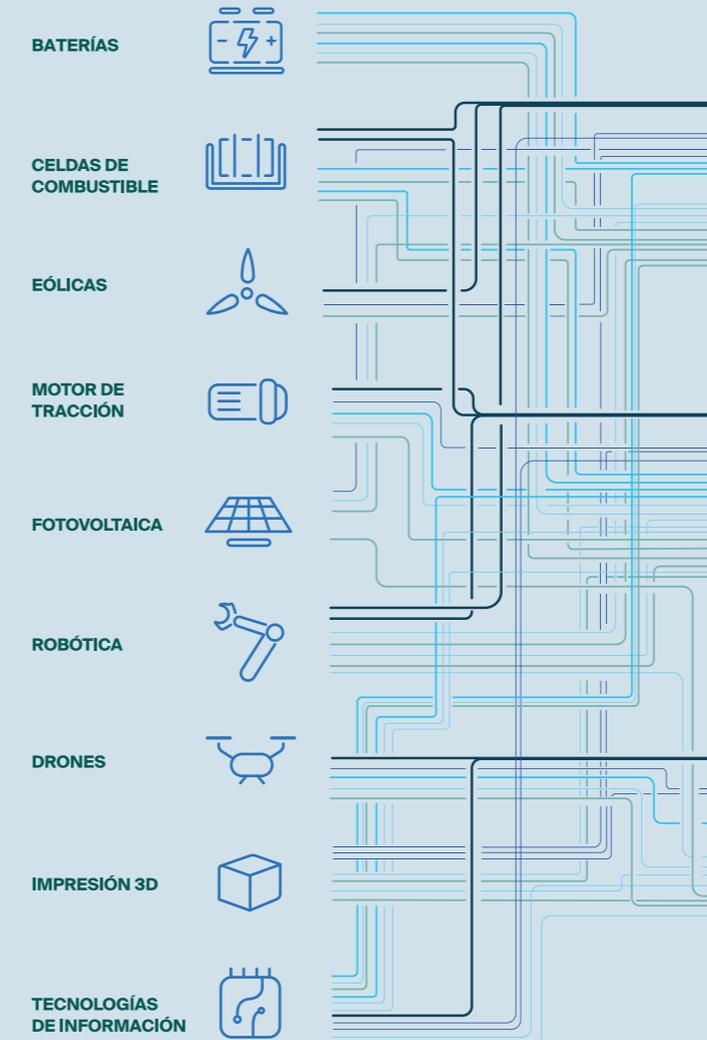
**EL FLUJO DE MATERIAS PRIMAS.** EN ESTE GRÁFICO REPRESENTA, DE FORMA ESQUEMÁTICA, EL FLUJO DE MATERIAS PRIMAS PARA DIFERENTES APLICACIONES. DESTACA LA IMPORTANCIA DE VARIOS MATERIALES CRÍTICOS PARA EL DESARROLLO DE RENOVABLES, TECNOLOGÍAS QUE SON FUNDAMENTALES PARA LA TRANSICIÓN ECOLÓGICA.

**MATERIALES**

<b>MUY ALTO</b>	TIERRAS ALTAS LIGERAS (LREE) TIERRAS RARAS PESADAS (HREE)
<b>ALTO</b>	MAGNESIO NIOBIO GERMANIO BORATOS ESCADINDIO
<b>MODERADO</b>	ESTRONCIO COBALTO METALES DEL GRUPO DEL PLATINO (PGM) GRAFITO NATURAL
<b>BAJO</b>	INDIO VANADIO LITIO WOLFRAMIO TITANIO GALIO HAFNIO SILICIO
<b>MUY BAJO</b>	MANGANESO CROMO CIRCONIO TELURO NÍQUEL COBRE



**TECNOLOGÍAS**



**SECTORES**





## El potencial de España

### La Universidad de Burgos lidera un hub europeo cen- trado en aleaciones metá- licas

Entre las iniciativas adoptadas durante la última década, destaca la European Innovation Partnership (EIP) on Raw Materials, una plataforma que ha dado lugar a 127 Compromisos EIP. Uno de ellos, SUBST-EXTREME<sup>11</sup>, ha trabajado en la búsqueda de sustitutos para las CRM en las industrias energética, aeroespacial y minera, y uno de sus dos grupos de trabajo, centrado en aleaciones metálicas, ha sido liderado por la Universidad de Burgos, convertida ya en un hub europeo en esta disciplina: ha creado el International Excellence Center in Critical Raw Materials for Advanced Industrial Technologies (ICCRAM), desde el que ha promovido en nuestro país clústeres industriales como CYLSOLAR (Clúster industrial de Energías Renovables y Soluciones Energéticas de Castilla y León) y CBECyL (clúster de bienes de equipo y automatización industrial de Castilla y León)<sup>12</sup>.

*El área de Materias Primas del EIT es el mayor consorcio del sector a nivel mundial, con más de 120 miembros*

Fruto de esta mayor sensibilidad por el problema, se ha creado el área de Materias Primas del EIT (Instituto Europeo de Innovación y Tecnología), el mayor consorcio del sector a nivel mundial, con más de 120 miembros. Complementa a propuestas como la European Battery Alliance (EBA), fundada

en 2017, que incluye como una de sus seis áreas prioritarias el acceso a las materias primas<sup>13</sup>, o la Alianza Europea de Materias Primas (ERMA), lanzada el 29 de septiembre de 2020. El KIC (knowledge Innovation community) de Materias Primas del EIT participa en el lanzamiento al mercado de baterías de estado sólido de primera generación y en el desarrollo de nuevas composiciones de acero y aleaciones de aluminio. También impulsa la primera planta de materiales precursores de cátodos en Europa, así como al menos una planta de fabricación de materiales de cátodos y ánodos de baterías<sup>14</sup>.

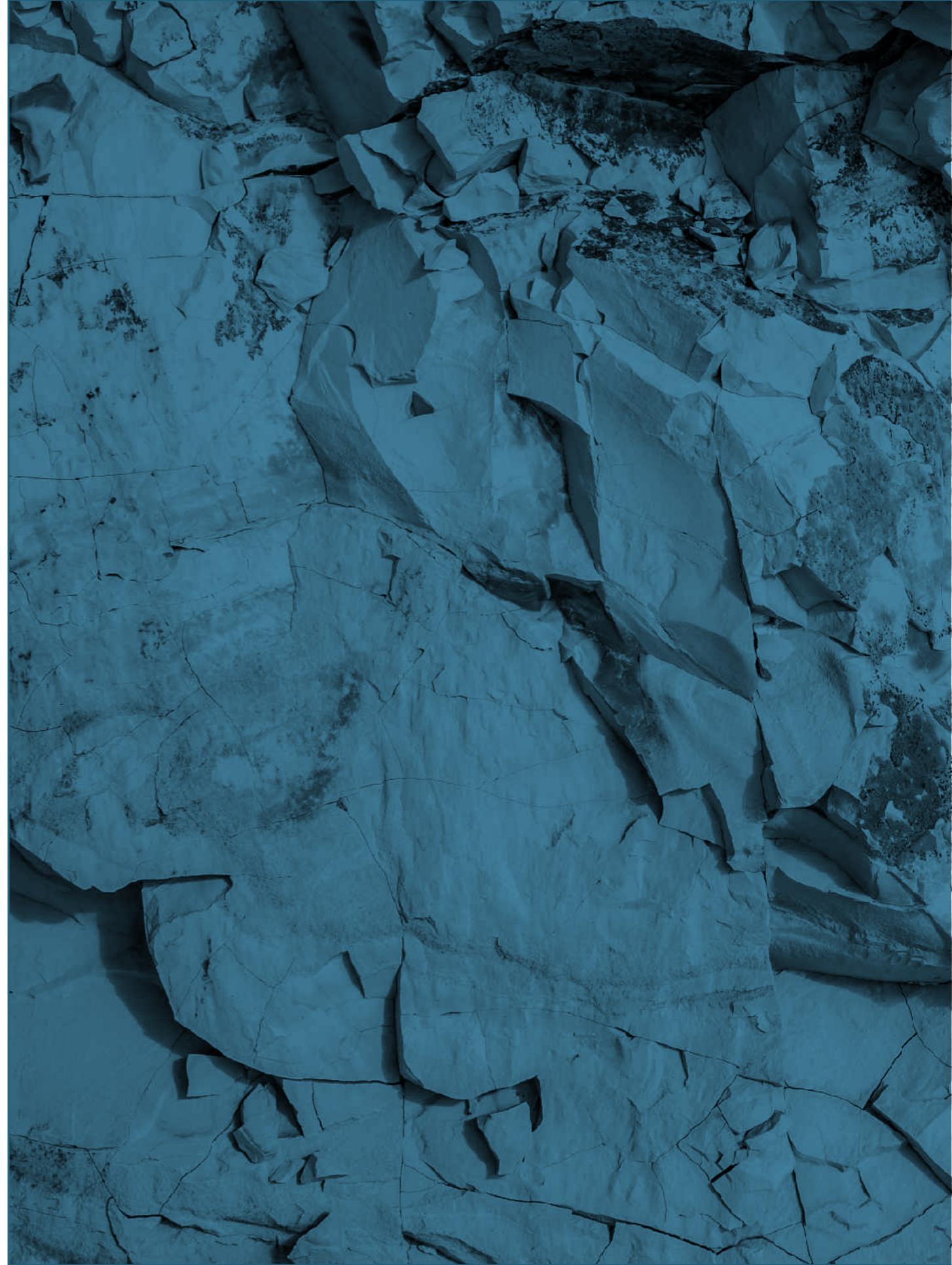
#### *Emprendimiento de base tecnológica.*

Entre otras iniciativas que van surgiendo desde el emprendimiento de base tecnológica, la startup Nanomakers lidera, por ejemplo, el proyecto SIRIUS que plantea el uso de precursores de gas silicio para generar silicio metálico dirigido a la sustitución parcial del grafito y, por otro lado, el desarrollo de ánodos de alta capacidad para reducir la cantidad de materiales anódicos en las baterías<sup>15</sup>. Sus estimaciones apuntan a un incremento del 30% en la capacidad de energética de las baterías. Y FACT Industries desarrolla una nueva materia prima en polvo para la fabricación aditiva (impresión 3D) de sistemas de gestión térmica basados en cerámica, una solución que despierta creciente interés en los sectores aeroespacial y electrónico, donde la alta conductividad térmica, el bajo coeficiente de expansión térmica y el diseño sostenible resultan claves<sup>16</sup>.

*Menos del 40 por ciento de los aparatos eléctricos se reciclan*

Grupos como COST Action CA15102 sostienen también en Europa, en paralelo a estas iniciativas, que la demanda de materiales críticos puede reducirse mediante su sustitución por materias primas secundarias. Actualmente se devuelve al ciclo productivo menos del 1% de las REE y se pueden lograr mejoras en el reciclado, particularmente en el área de imanes, lámparas fluorescentes, baterías y catalizadores<sup>17</sup>. Con unas tasas de crecimiento anuales del 2%, los flujos de residuos de los aparatos eléctricos y electrónicos siguen situándose entre los que más rápidamente crecen en la UE. Sin embargo, menos del

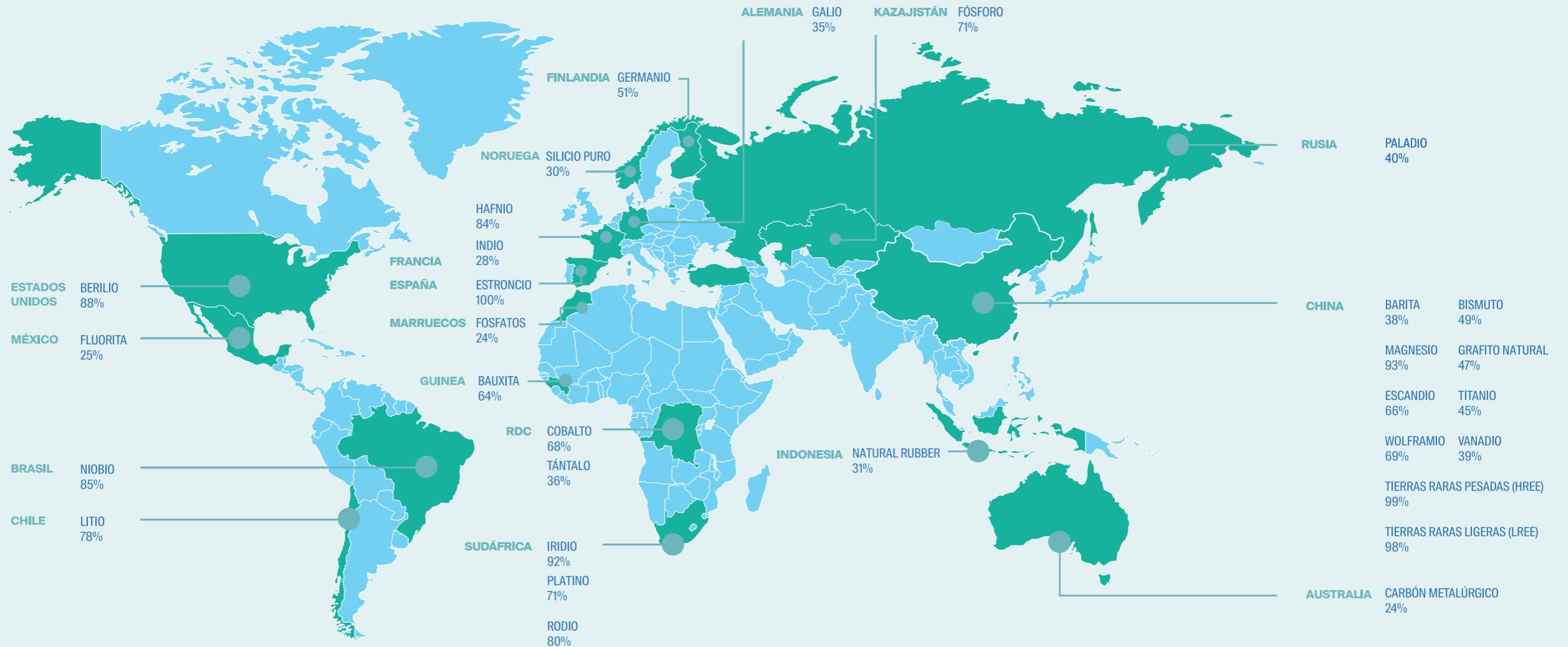
40% de ellos se reciclan<sup>18</sup>. Este enfoque puede ser fundamental para el futuro de muchos elementos. El itrio es insustituible, ya que las alternativas suelen ser mucho menos efectivas, especialmente en láseres electrónicos y fósforos, aunque el óxido de itrio podría reemplazarse por CaO o MgO como estabilizador en cerámicas de zirconio. El itrio se puede extraer de recursos secundarios preferentemente mediante procesos hidrometalúrgicos y, aunque faltan instalaciones de reciclado a gran escala, se avanza en opciones de recuperación de pantallas planas, vidrio óptico gastado y polvo cerámico.



Fuente: Clean Technica.com

**FIGURA 4.**

**PRODUCCIÓN DE ELEMENTOS CRÍTICOS.** ESTE MAPA REPRESENTA LA LOCALIZACIÓN DE LAS PRINCIPALES MINAS Y DEPÓSITOS DE ELEMENTOS CONSIDERADOS CRÍTICOS, INCLUIDAS VARIAS TIERRAS RARAS. ADEMÁS, LOS PORCENTAJES (QUE INDICAN LA PROPORCIÓN DE PRODUCCIÓN GLOBAL) OFRECEN UNA IDEA DE LOS MONOPOLIOS Y LOS PROBLEMAS GEOPOLÍTICOS QUE PLANTEA EL SUMINISTRO DE ALGUNAS MATERIAS PRIMAS COMO EL ESTRONCIO, EL MAGENISIO, EL IRIDIO Y EL NIOBIO, ENTRE OTROS.





## Aplicación e impacto

### La movilidad eléctrica y la expansión de energías renovables dispara la de- manda de “tierras raras”

La escasez de materias primas no sólo es un tema importante que compromete nuestra competitividad y sostenibilidad, es también un problema urgente. La Comisión Europea estima que, si no se actúa, en 2050 la demanda de litio de la UE será de 10 a 50 veces mayor y la de tierras raras (REE) se habrá multiplicado entre 5 y 10 veces por efecto de la movilidad eléctrica. Por su parte, la demanda de materias primas utilizadas en turbinas eólicas, fundamentales para la expansión de las energías renovables implícita en el Pacto Verde Europeo, disparará la necesidad de REE hasta seis veces en 2030 y hasta 15 veces en 2050. Hay además aspectos geoestratégicos que van más allá de lo económico: China es el principal productor mundial del 58% de las materias primas identificadas como importantes para aplicaciones de defensa, mientras que la UE sólo es el mayor proveedor mundial de una, el hafnio.

El reciclado asoma como una vía interesante también para recuperar wolframio al final de su vida útil, ya que su sustitución tiene el problema de generar costes más altos y

*China es el principal productor mundial de las materias primas utilizadas en aplicaciones de defensa, con un 58% del total*

pérdida del rendimiento del producto, o es sencillamente im-  
planteable porque pasa por el uranio empobrecido o el plomo.  
En el caso del niobio, se puede recuperar reciclando los aceros  
que lo contienen, de modo que no es una cuestión de tecnolo-  
gía, sino de logística. Se estima que la tasa de reciclado podría  
alcanzar el 56%, pero necesitaría una mejor gestión de la chata-  
rra. En cuanto al cobalto, su reciclado depende de las investiga-  
ciones sobre las baterías de iones de litio que son la aplicación  
más común, se han desarrollado varios procedimientos en esta  
dirección.

#### *Materias primas sustitutivas.*

De un total de 64 materias primas investigadas por la German  
Environment Agency, en 40 tecnologías ambientales 38 de ellas  
podrían desempeñar un papel clave en un escenario de eco-  
nomía verde para los años 2025 y 2050. El problema es que las  
opciones de sustitución relevantes se sitúan en diversas etapas  
de madurez. Por ejemplo, ya están disponibles en el mercado  
alternativas de imanes de neodimio-hierro-boro (NdFeB) en mo-  
tores eléctricos para BEV (battery electric vehicle) con motores  
asíncronos, motores síncronos con excitación eléctrica externa  
y motores con contenido reducido de tierras raras. Por otro lado,  
la plata sinterizada ya ha entrado en la fase comercial como  
sustituto de las soldaduras sin plomo. Pero otras opciones de  
sustitución aún no son competitivas en precio, como los diodos  
orgánicos emisores de luz (OLED) para reemplazar a los LED  
blancos<sup>19</sup>.

El escenario de sustitución de materias primas  
por sectores arroja algunos datos interesantes: en el campo de  
la identificación por radiofrecuencia (RFID) se plantea un des-  
censo sustancial de cobre y plata en 2025 del -96% y 2050 del  
-100%; en LED blancos, una bajada sustancial de cerio en 2025  
del -60%; en motores híbridos, una disminución sustancial de  
disproso y terbio en 2025 del 55%; en motores eléctricos para  
BEV y PHEV (plug-in hybrid electric vehicle), una minoración de  
disproso, neodimio, praseodimio y terbio en 2050 del -64 %; y  
para imanes permanentes en aerogeneradores, una reducción  
sustancial del disproso en 2025 del -40%.

La investigación y el desarrollo se requieren  
principalmente con respecto a aquellas opciones de sustitución  
para las que se prevé una cuota de mercado relativamente pe-

queña para 2025 porque aún no son competitivas y los niveles de eficiencia que se están alcanzando son relativamente bajos como sucede con las células solares de sulfuro de cobre, zinc y estaño. Lo mismo se puede decir de los óxidos conductores transparentes libres de indio, con problemas de fabricación a gran escala, o con los motores de baja tensión con imanes permanentes de alto rendimiento en aplicaciones industriales. En otros casos, el apoyo debe venir vía sensibilización y el fomento de la confianza entre los consumidores podría ser la palanca para su explosión, como en el caso de los motores síncronos y los OLED blancos.

Otra vía de innovación puede ser potenciar la minería. Se ha identificado 14 proyectos, desde minas y minas urbanas hasta imanes, que requerirían un volumen de inversión de 1.700 millones de euros y podrían constituir la base de una industria europea de tierras raras, capaz de satisfacer el 20% de la demanda de la UE para 2030 e impulsar un mercado de 400.000 millones de euros y 6 millones de puestos de trabajo solo en la industria de la movilidad y la automoción<sup>20</sup>.

Y no puede dejarse de lado el potencial de las tecnologías digitales. La agricultura tiene una característica diferencial respecto al resto de sectores, ya que los CRM sólo cubren una aplicación: los fertilizantes. Se están considerando fuentes alternativas de fósforo, como el estiércol animal, los lodos de depuradora y la cadena de residuos alimentarios, para reducir la dependencia de las rocas de fosfato. Pero también la irrupción de la agricultura de precisión puede desempeñar un papel relevante reduciendo la necesidad de fertilizantes minerales<sup>21</sup>. La ciencia de los materiales se beneficiará cada vez más de los avances en inteligencia artificial, en especial de los algoritmos basados en aprendizaje automático e inteligencia artificial para gestionar el almacenamiento y análisis de datos<sup>22</sup> y servir de apoyo a las sociedades de investigación de materiales.





## *Conclusiones*

Es necesario rediseñar nuestros procesos productivos. Primero, porque las materias primas y los recursos de nuestro planeta son finitos y, por tanto, necesitamos nuevas estrategias para reutilizar y reciclar materiales escasos como los metales preciosos y las tierras raras. Esto permitirá el avance hacia una economía circular y más verde. Además, la búsqueda de nuevas materias primas reducirá el impacto de la extracción y la minería en el medio ambiente. El apoyo a la investigación y desarrollo de alternativas, al mismo tiempo, facilitará el desarrollo de nuevas tecnologías sostenibles para la generación y almacenamiento de energía, uno de nuestros recursos más importantes. En conjunto, reducir nuestra dependencia en materiales críticos permitirá un avance rápido hacia la descarbonización y los objetivos de desarrollo sostenible.



1. A. Brunning. **“The Chemical Elements of a Smartphone”**. Compound Interest, 19 de febrero de 2014. Consultado el 12 de febrero de 2022.

2. Royal Society of Chemistry (2019). **“Elements in danger”**. Consultado el 12 de febrero de 2022.

3. Comisión Europea (2020). **“Critical Raw Materials Resilience: Charting a Path towards greater Security and Sustainability”**. Consultado el 12 de febrero de 2022.

4. T. Vandervelde. **“Beyond silicon: the search for new semiconductors”**. The Conversation, 10 de marzo de 2016. Consultado el 12 de febrero de 2022.

5. Comisión Europea (2022). **“Digital sovereignty: Commission proposes Chips Act to confront semiconductor shortages and strengthen Europe’s technological leadership”**. Consultado el 12 de febrero de 2022.

6. E. Davies. **“Getting the metals out of old phones”**. Chemistry World, 20 de marzo de 2017. Consultado el 12 de febrero de 2022.

7. J. Harris. **“Apple opens doors to recycling robot Daisy in call for people’s old iPhones”**. Evening Standard, 29 de octubre de 2021. Consultado el 12 de febrero de 2022.

8. Apple (n.d.). **“Environment”**. Consultado el 12 de febrero de 2022.

9. E. Bilby. **“New batteries could share a unique bond with milk and kitchen foil”**. Horizon, 25 de enero de 2022. Consultado el 12 de febrero de 2022.

10. T. Van Olphen y L. Catalano Gonzaga. **“Baterías sangrientas: la extracción de cobalto en Congo”**. El País, 17 de julio de 2020. Consultado el 12 de febrero de 2022.

11. Comisión Europea (n.d.) **“Sustainable substitution in extreme conditions”**. Consultado el 12 de febrero de 2022.

12. ICARUS Alloys (n.d.). **“The project”**. Consultado el 12 de febrero de 2022.

13. EIT (n.d.) **“Building a European battery industry”**. Consultado el 12 de febrero de 2022.

14. EIT (2021). **“Raw materials strategic agenda 2021-2027”**. Consultado el 12 de febrero de 2022.

15. EIT (2021). **“High performance silicon composites for lithium-ion batteries”**. Consultado el 12 de febrero de 2022.

16. EIT (2021). **“3D printing is a hot topic: FACT Industries produces materials for heat sink”**. Consultado el 12 de febrero de 2022.

17. A. Bartl et al. Detritus, 2018, 3, 37, DOI: [10.31025/2611-4135/2018.13697](https://doi.org/10.31025/2611-4135/2018.13697).

18. Comisión Europea (2020). **“Nuevo Plan de acción para la economía circular por una Europa más limpia y más competitiva”**. Consultado el 12 de febrero de 2022.

19. Matthias Buchert et al. **“Substitution as a Strategy for Reducing the Criticality of Raw Materials for Environmental Technologies”**, German Environment Agency, enero de 2019. Consultado el 12 de febrero de 2022.

20. European Raw Materials Alliance (2021). **“Rare Earth Magnets and Motors: A European Call for Action”**. Consultado el 12 de febrero de 2022.

21. Antoine Monnet y Amar Ait Abderrahim. **“Report on major trends affecting future demand for critical raw materials”**. Publicado el 22 de mayo de 2018. Consultado el 12 de febrero de 2022.

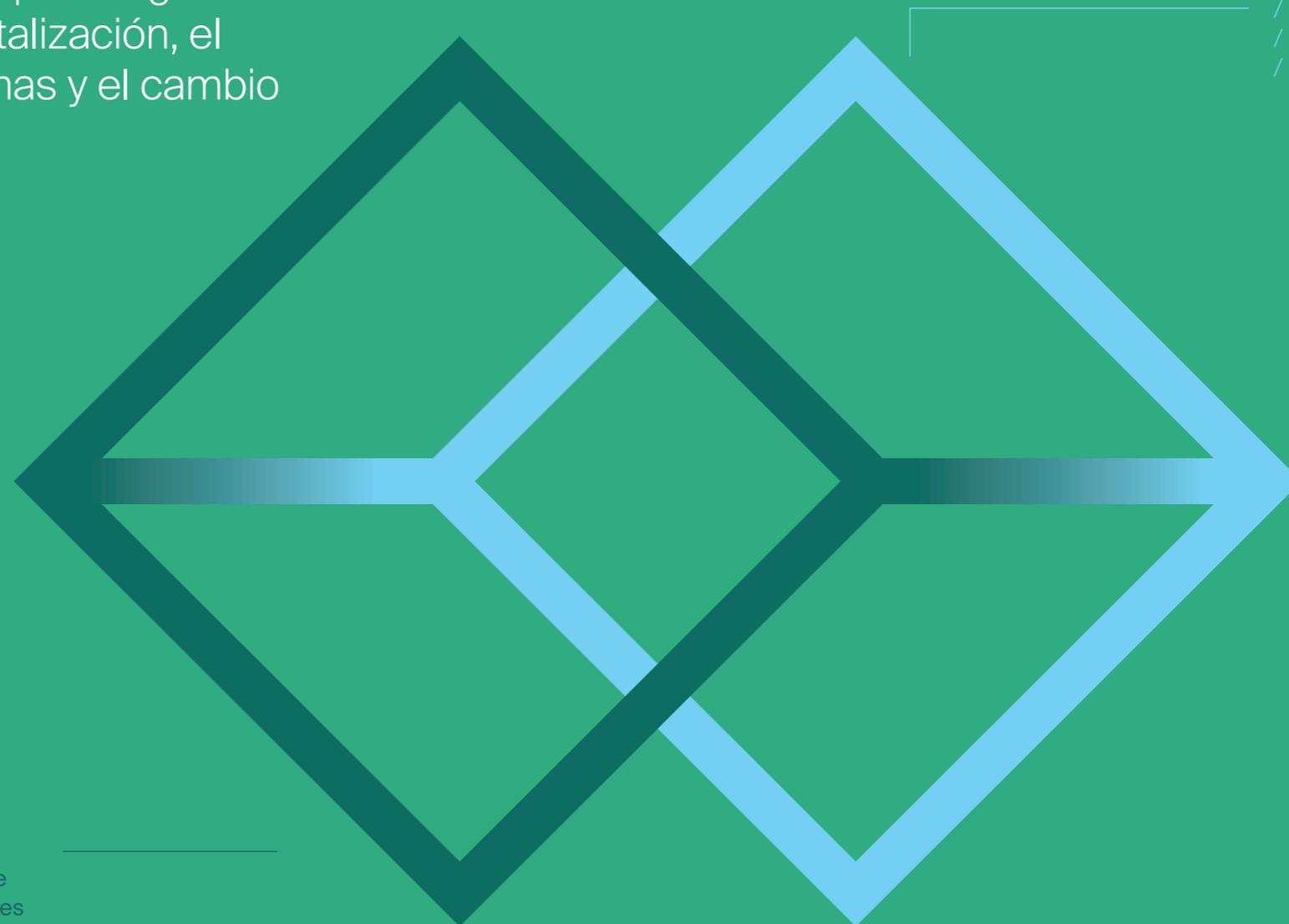
22. Peter J. Wellmann. Discover Materials, 2021, 1, 14, DOI: [10.1007/s43939-021-00014-y](https://doi.org/10.1007/s43939-021-00014-y).

# 05. Matemáticas para un mundo sostenible

Sistemas más eficientes para la generación de energía, la digitalización, el estudio de los ecosistemas y el cambio climático.

/ Desarrollo económico sostenible  
/ Mejora generación energética  
/ Lucha contra cambio climático

/ Mejora digitalización  
/ Recolección datos climáticos con la nube  
/ Predicción de interacciones entre especies





## En clave

Quizás suene sorprendente, pero las matemáticas son una de las herramientas fundamentales para alcanzar los objetivos de desarrollo sostenible. Desde el planteamiento de nuevos modelos para entender mejor los movimientos migratorios hasta la creación de mejores sistemas para la gestión de recursos, las matemáticas invaden un sinnúmero de aspectos de la realidad; contribuyen al crecimiento económico asegurando un avance sostenible.



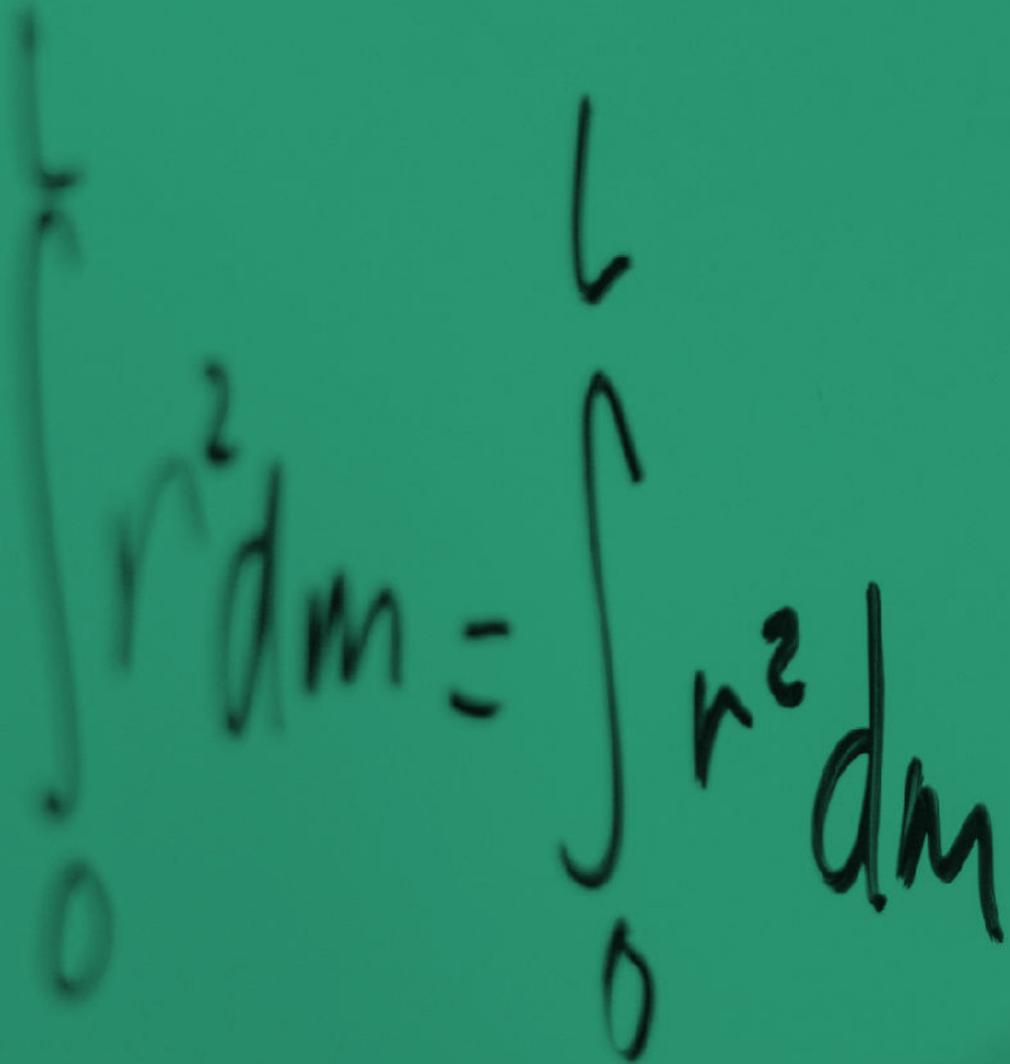
## La tecnología

**Sistemas más eficientes para la generación de energía, la digitalización, el estudio de los ecosistemas y el cambio climático**

Las matemáticas están detrás de muchos de los procesos que hacen posible numerosas industrias. Es complicado resumir todas esas contribuciones en unos pocos párrafos. Sin embargo, las siguientes páginas intentan explicar cómo las matemáticas hacen frente a diferentes retos actuales, desde la comprensión y el control de la crisis climática hasta la gestión eficiente de una sociedad globalizada e interconectada. Los esfuerzos por conectar el desarrollo matemático con la sostenibilidad no son nuevos. Ya a finales de los años 80 del siglo pasado varios científicos teorizaban sobre la importancia de investigar en matemáticas para garantizar un futuro viable. Entre otros avances necesarios para el progreso, estos informes destacan la importancia de sistemas más eficientes para la generación de energía, la digitalización de los servicios y el estudio detallado de los ecosistemas<sup>1</sup>. Quizás el único aspecto ausente en estos primeros análisis es el cambio climático. Por suerte, este tema ha interesado a muchos matemáticos, que han hecho grandes avances. De hecho, los sistemas de modelización matemática han sido grandes protagonistas estos últimos años. Por ejemplo, el año pasado, los modelos matemáticos de sistemas complejos, como los que demostraron el impacto antropogénico en la crisis climática, recibieron el Premio Nobel de Física 2021. El comité Nobel destacó la importancia de estos estudios para medir y cuantificar las variaciones en los sistemas climáticos, así como la enorme utilidad para predecir efectos globales como el incremento de la temperatura y otros fenómenos meteorológicos<sup>2</sup>.

A la hora de modelar el clima, entran en juego diferentes ecuaciones y desarrollos matemáticos. Quizás uno de los más importantes sean las ecuaciones de Navier-Stokes, descritas por primera vez en el siglo XIX para explicar el comportamiento de distintos fluidos y flujos turbulentos, que incluyen entre otros los gases de la atmósfera y el agua de nuestros océanos. Como en el caso de las ecuaciones que describen la estructura y el comportamiento de los átomos y las moléculas, obtener las soluciones exactas para estas fórmulas matemáticas es increíblemente complejo. Por ello, se llevan a cabo aproximaciones a través de cálculos por ordenador, a menudo gracias a superordenadores y grandes clústers de computación<sup>3</sup>. Además de la mecánica de fluidos, estos modelos tienen en cuenta parámetros como las erupciones volcánicas, la variación de la radiación solar, la actividad humana y los cambios en la vegetación global, algo que afecta directamente al ciclo del carbono y, por tanto, a la fijación y emisión de CO<sub>2</sub>. Los análisis matemáticos nos permiten ir mucho más allá de simples predicciones meteorológicas y pronosticar cambios en el clima de la Tierra durante las próximas décadas. Para asegurar que los modelos funcionan correctamente, los investigadores suelen comparar las predicciones con épocas pasadas documentadas. Este sistema, utilizar los modelos retrocediendo en el tiempo, permite perfeccionar la precisión antes de llevar a cabo test y análisis sobre el futuro, dado que estos son normalmente muy costosos<sup>4</sup>.

En general, la predicción de escenarios climáticos es un mercado en expansión, que probablemente crezca hasta los 2300 millones de dólares antes de 2025. Además de ofrecer información de gran valor sobre la crisis climática, estos modelos matemáticos permiten a instituciones públicas y privadas planificar diferentes escenarios para hacer frente a cambios en los ecosistemas, eventos meteorológicos extremos y cambios en las prioridades y organización de recursos<sup>5</sup>. En este campo destaca la start-up española Predictia, con sede en Santander, que además de desarrollar modelos climáticos punteros participó en la elaboración del Atlas Interactivo del Panel Intergubernamental contra el Cambio Climático (IPCC). Esta herramienta digital permite visualizar variaciones en los niveles de CO<sub>2</sub>, temperatura y muchas otras variables en un mapamundi interactivo que engloba más de 1 terabyte de datos recogidos durante un millón y medio de horas de cálculos computacionales<sup>6</sup>.



The image shows a chalkboard with a handwritten mathematical equation. The equation is  $\int_0^L r^2 dm = \int_0^L r^2 dm$ . The chalk is white, and the background is a dark, textured surface. The equation is written in a cursive, hand-drawn style. There are some faint marks and smudges around the equation, suggesting it was recently written.

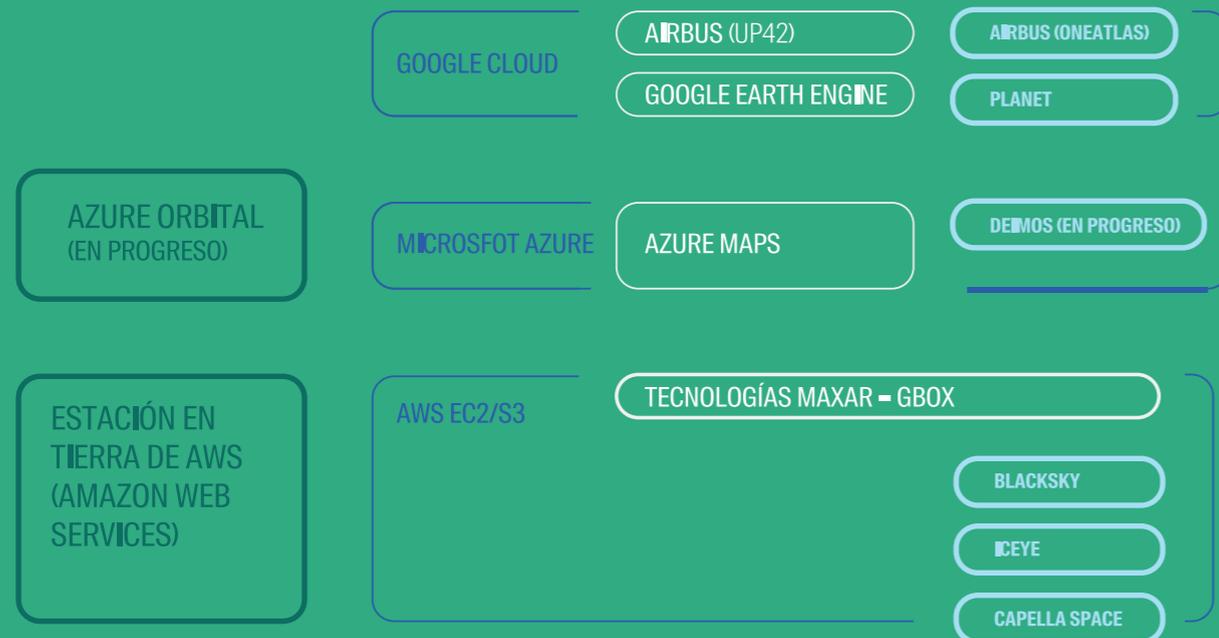
Fuente: Euroconsult / Robin McDowall

FIGURA 1.

**ALTERNATIVAS PARA LA RECOLECCIÓN DE DATOS CLIMÁTICOS.** LAS POTENCIAS MUNDIALES CUENTAN CON DIFERENTES ALTERNATIVAS PARA EL ALMACENAMIENTO Y PROCESAMIENTO DE DATOS CLIMÁTICOS. EN EE.UU., LA MAYOR PARTE SE ALOJAN EN SERVICIOS DE “NUBE” COMERCIALES, MIENTRAS QUE EUROPA OPTA POR ALTERNATIVAS ABIERTAS, COMO EL SERVICIO COPERNICUS.



### EE.UU. EL ECOSERVISISTEMA GAFAM



### OPERADORES DE OBSERVACIÓN DE LA TIERRA QUE COLABORAN CON EL ECOSISTEMA DE SERVICIOS

Las capacidades de alojamiento en la nube son el centro de los nuevos enlaces entre las compañías GAFAM (Google, Apple, Facebook, Amazon y Microsoft) y los operadores de observación terrestre. Unos desarrollos muy similares ocurren en Europa, con los datos de Copernicus y los servicios de información. China también está desarrollando sus sistemas, con el ecosistema BATX de firmas como Baidu, Alibaba, Tencent y Xiaomi sustituyendo a GAFAM por operadores chinos.

### CHINA EL ECOSISTEMA BATX



### UE EL SISTEMA COPERNICUS



*La start up española Predictia ha participado en la elaboración del Atlas Interactivo del IPCC.*

En esta línea, las matemáticas también son fundamentales para diseñar nuevos procesos de generación y utilización de energía más eficientes y sostenibles. Uno de los retos consiste en adaptar la red eléctrica a las renovables, que a menudo son fuentes de energía intermitentes y varían según las horas del día y las condiciones meteorológicas, como la eólica y la solar<sup>7</sup>. Entre otras cosas, estos modelos matemáticos incluyen nuevos sistemas para estabilizar la frecuencia de la corriente eléctrica a pesar de diferentes cambios y variaciones en el suministro. Gracias a las teorías de sistemas complejos, los investigadores esperan poder controlar la red de una manera eficiente que evite los cortes de luz y permita aprovechar los recursos renovables al máximo<sup>8</sup>. También existen diferentes modelos para el diseño de nuevos edificios inteligentes con impacto climático cero, que utilizan las matemáticas para analizar la manera de optimizar la energía y, al mismo tiempo, reducir las emisiones de gases de efecto invernadero. Estos estudios pueden aplicarse tanto durante el diseño y planificación de los edificios como a lo largo de su vida útil, para gestionar aspectos como la calefacción, refrigeración y la utilización de agua, entre otros<sup>9</sup>.

*Predecir la supervivencia de especies.*

Además de mitigar los efectos de la crisis climática, los objetivos de desarrollo sostenible engloban otros muchos retos. Entre ellos están el cuidado de la vida submarina, así como la preservación de los ecosistemas terrestres. Las matemáticas contribuyen a estos dos objetivos en tanto en cuanto nos ayudan a comprender mejor el desarrollo y la evolución de los ecosistemas, así como las relaciones y conexiones entre las diferentes especies. Desde las primeras teorías enunciadas por Thomas Malthus y otros científicos a finales del XVIII, los investigadores han perfeccionado las ecuaciones y los modelos; actualmente existen sistemas ampliamente validados que permiten predecir tanto la supervivencia como la extinción de especies con gran precisión. Estos estudios engloban ecuaciones de sistemas complejos y probabilidad que, por un lado, permiten describir el comportamiento de las poblaciones y, por otro lado, facilitan la adopción de medidas correctoras en casos de amenaza<sup>10</sup>. De forma similar, existen varios proyectos financiados por la Unión

Europea que dedican sus esfuerzos al desarrollo de modelos matemáticos para entender la naturaleza. Por ejemplo, un trabajo liderado por investigadores en la Universidad Carlos III de Madrid descubrió que, dentro de un ecosistema, las diferentes especies se comportan como las células de un cuerpo humano. Muchas – como las células de la piel – desaparecen y reaparecen frecuentemente; si tenemos en cuenta largos periodos de tiempo muchas especies sustituyen a otras similares. Lo importante, a la larga, es la supervivencia del ecosistema. Por ello, destacan los investigadores, es clave estudiar los sistemas en su conjunto; a veces la extinción de una única especie es irrelevante para la totalidad de unas estructuras biológicas y ecológicas muy complejas, mientras en otros casos tienen efectos muy negativos. Hacer esfuerzos para preservar esa especie sin llevar a cabo un análisis completo podría tener efectos devastadores, y los modelos matemáticos permiten obtener predicciones precisas sobre las interacciones entre especies y su influencia en la estabilidad de los ecosistemas<sup>11</sup>. Una tendencia cada vez más mayoritaria analiza también el impacto de las bacterias y otros microorganismos, dado que representan una proporción enorme en términos poblacionales. Además, las bacterias también permiten a los investigadores llevar a cabo experimentos sobre ecosistemas en periodos de tiempo muy cortos, gracias a sus rápidos mecanismos de reproducción. A veces, estos ensayos sobre sistemas sencillos permiten acelerar el desarrollo de modelos matemáticos aplicables a situaciones más complejas<sup>12</sup>. Más allá de los estudios sobre ecosistemas y biodiversidad, las matemáticas pueden ofrecer herramientas muy útiles para entender la evolución de las plantas<sup>13</sup>, minimizar las emisiones y mejorar la eficiencia y sostenibilidad de los cultivos<sup>14</sup>.

*Los modelos matemáticos permiten obtener predicciones sobre las interacciones entre especies y su influencia en la estabilidad de los ecosistemas*

Las matemáticas también ofrecen herramientas para comprender mejor muchos aspectos sociales, algo que puede ayudarnos a avanzar hacia la economía circular y una

sociedad más sostenible. Los modelos matemáticos han sido fundamentales para entender el avance de la pandemia, y serán clave también para analizar problemas futuros como la migración de poblaciones causada por la crisis climática y la cuantificación de la pobreza y las desigualdades. En un artículo publicado en la revista Nature en 2020, varios expertos en matemáticas destacaron la importancia de los modelos para una sociedad global. Siempre que sigan unos criterios básicos de transparencia y comuniquen claramente los problemas de incertidumbre y del contexto, los modelos matemáticos pueden ser grandes herramientas para determinar la toma de decisiones políticas y explorar respuestas a problemas complejos<sup>15</sup>.



$$\frac{\partial}{\partial x}(e^u) = 0$$

## Retos y Oportunidades

Grandes ámbitos de la economía dependen de predicciones fiables basadas en modelos matemáticos

$$\frac{\partial u}{\partial x} = -\frac{1}{c} \frac{\partial p}{\partial x}$$

$$\left(\frac{\partial}{\partial x}\right) + u \frac{\partial}{\partial x} \left(\frac{\partial}{\partial x}\right)$$

La fórmula que propuso Bill Gates para estimar las emisiones globales de CO<sub>2</sub> es muy conocida, pero incapaz de recoger las interacciones entre diferentes factores. Los atajos no valen. El Global Climate Model (GCM), el preferido por el IPCC, es una pieza de software muy compleja, con millones de líneas de código. Sin embargo, está sujeta a muchos posibles errores en la forma en que se representa la física, los algoritmos utilizados para resolver esa física, la codificación de esos algoritmos, los datos que se introducen en el cálculo y las condiciones iniciales utilizadas para iniciar todo el sistema, pero representa un esfuerzo complejo y útil para predecir la evolución de las emisiones de CO<sub>2</sub> en función de diferentes parámetros e hipótesis. Los modelos meteorológicos se prueban comparándolos con la realidad cada seis horas. Hay muchos centros climáticos diferentes en todo el mundo (desde el NCAR en EEUU, al Hadley Center en el Reino Unido, CSIRO en Australia y CCSR en Japón) y utilizan modelos que difieren en la forma en que se aproximan a la física, el modo en que resuelven las ecuaciones diferenciales parciales resultantes y las diversas suposiciones de la actividad humana. A ello se suma que el gran tamaño del cálculo hace que su funcionamiento sea muy costoso, y las supercomputadoras que los ejecutan consumen mucha energía en el proceso. De hecho, una de las ironías de la ciencia climática moderna es que las computadoras que hacen los cálculos contribuyen, al hacerlos, al calentamiento global<sup>17</sup>.

### *Un coste de 275 billones de dólares.*

El desafío matemático es descomunal, porque de los resultados de las predicciones para mantener el aumento de la temperatura de la Tierra por debajo de los 1,5 grados centígrados dependen enormes ámbitos de la economía. Ni siquiera resulta sencillo establecer cuánto va a costar esta herramienta. La Glasgow Financial Alliance for Net Zero (Gfanz) anunció en la COP26 que habría todo el dinero necesario para conseguirlo y comprometió 130 billones de dólares con el respaldo de más de 450 bancos, aseguradoras y administradores de activos de todo el mundo, el 40% de los activos financieros a nivel mundial. Rainforest Action Network se apresuró a responder que los 93 bancos que habían firmado el compromiso proporcionaron 575.000 millones de dólares en préstamos y suscripción a la industria de combustibles fósiles en 2020<sup>18</sup>. En otro informe se estima que el coste de una transición ordenada a una sociedad y una economía mundial de emisiones cero podría alcanzar los 275 billones de dólares,

crearía 200 millones de empleos, pero destruiría 185 millones, y el coste de la electricidad se elevaría un 20% en 2050<sup>19</sup>. El coste de una transición desordenada se podría disparar.

### Las inundaciones fluviales, los incendios, el calor y el estrés hídrico son los riesgos climáticos más relevante en la UE

El sector económico opera a partir de escenarios para alcanzar ese objetivo de los 1,5 grados centígrados, en los que se abordan aspectos como las reducciones de emisiones en los distintos sectores, el papel del petróleo y otros combustibles fósiles en el transporte y la energía, o el vigor de la reforestación<sup>20</sup>. A estas alturas no hay duda de que se requiere innovación en el modelado prospectivo para identificar posibles pérdidas financieras. Un análisis de los factores de riesgo físico en 1,5 millones de empresas de la zona del euro muestra que las inundaciones fluviales son el riesgo climático generalizado más relevante desde el punto de vista económico en la UE durante las próximas dos décadas. Los incendios forestales, el estrés por calor y el estrés hídrico podrían tener un fuerte impacto en algunas regiones, posiblemente agravado por otras tensiones, como el aumento del nivel del mar en la segunda mitad de este siglo. En total podría afectar hasta al 30 % de las exposiciones corporativas bancarias de la zona del euro, con el agravante de que el sector asegurador no funcionaría como amortiguador en un shock sistémico porque solo el 35 % de las pérdidas climáticas económicamente relevantes de media están actualmente aseguradas en la UE<sup>21</sup>.

Las exposiciones a empresas con grandes emisiones de GEI representan el 14 % de los balances colectivos del sector bancario de la zona del euro, concentrados principalmente en los sectores de fabricación, electricidad, transporte y construcción, y las pérdidas relacionadas con ello podrían constituir aproximadamente el 10% de los balances bancarios

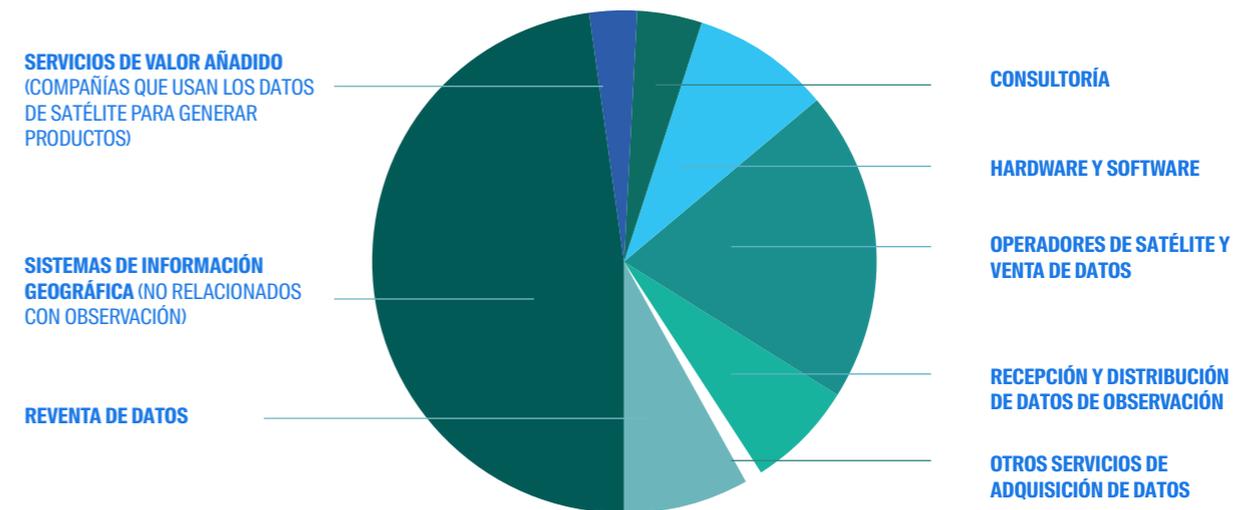
Fuente: EARSC Industry Survey 2021

FIGURA 2.

#### QUÉ TIPO DE DATOS CLIMÁTICOS USAN LAS EMPRESAS.

LAS EMPRESAS UTILIZAN LOS DATOS, PROYECCIONES Y MODELOS SOBRE EL CLIMA DE FORMAS MUY DIFERENTES. ESTE GRÁFICO MUESTRAS LOS DIFERENTES SECTORES EN LOS QUE OPERAN LAS EMPRESAS EN ESTE CAMPO, DESDE EL DESARROLLO DE NUEVOS PRODUCTOS HASTA LA CONSULTORÍA.

LA EXPLICACIÓN QUE APARECE EN EL INFORME ES LA SIGUIENTE: EN COMPARACIÓN CON LOS DATOS DE NUESTRA ENCUESTA DE 2019, PODEMOS VER QUE EL PORCENTAJE DE EMPRESAS QUE UTILIZAN DATOS SATELITALES PARA GENERAR PRODUCTOS HA AUMENTADO SIGNIFICATIVAMENTE (DEL 26 % AL 42 %), ASÍ COMO LAS ACTIVIDADES DE LOS OPERADORES DE SATELITES (DEL 14 % AL 26 %). POR EL CONTRARIO, LOS RESULTADOS MUESTRAN UNA DISMINUCIÓN PARA LA RECEPCIÓN Y DISTRIBUCIÓN DE DATOS DE EO (DEL 21% AL 7%) Y LAS ACTIVIDADES DE HARDWARE/SOFTWARE (DEL 12% AL 8%).



en caso de que se rebajen las calificaciones crediticias asociadas con un precio del carbono en rápido aumento a los niveles alineados con París. En el caso de los fondos de inversión, las necesidades de reducir el impacto medioambiental de la cartera son aún mayores: más del 55% de las inversiones se inclinan hacia empresas de alta emisión y se estima que sólo se alinean con la taxonomía de la UE en solo el 1% de los activos. Además, el 70% de las exposiciones crediticias del sistema bancario a empresas sujetas a peligros de riesgo físico alto o creciente durante las próximas décadas se concentran en las carteras de solo 25 bancos.

### *Fondos de inversión: más del 55% de las inversiones se inclinan hacia empresas de alta emisión*

Por estas razones, el Banco Central Europeo insta por eso a progresar en la medición y el modelado de riesgos relacionados con el clima. Son insuficientes los datos informados, incluidas las métricas de riesgo físico comúnmente acordadas, así como los aspectos de emisiones prospectivas y posteriores, a lo que se añade la necesidad de recurrir a estimaciones de proveedores de datos privados. Las dificultades que tendrán que resolver las matemáticas se han hecho patentes en las oscilaciones que ha experimentado el valor del coste social del carbono entre las administraciones Obama-Trump-Biden<sup>22</sup><sup>23</sup>, que llevó a la Academia Nacional de las Ciencias de EE.UU, a hacer sugerencias sobre el modelo a aplicar<sup>24</sup>, e incluso a la complejidad inherente a la propia fijación de un precio a las emisiones de carbono para facilitar su comercialización<sup>25</sup>.

#### *Gestión pesquera.*

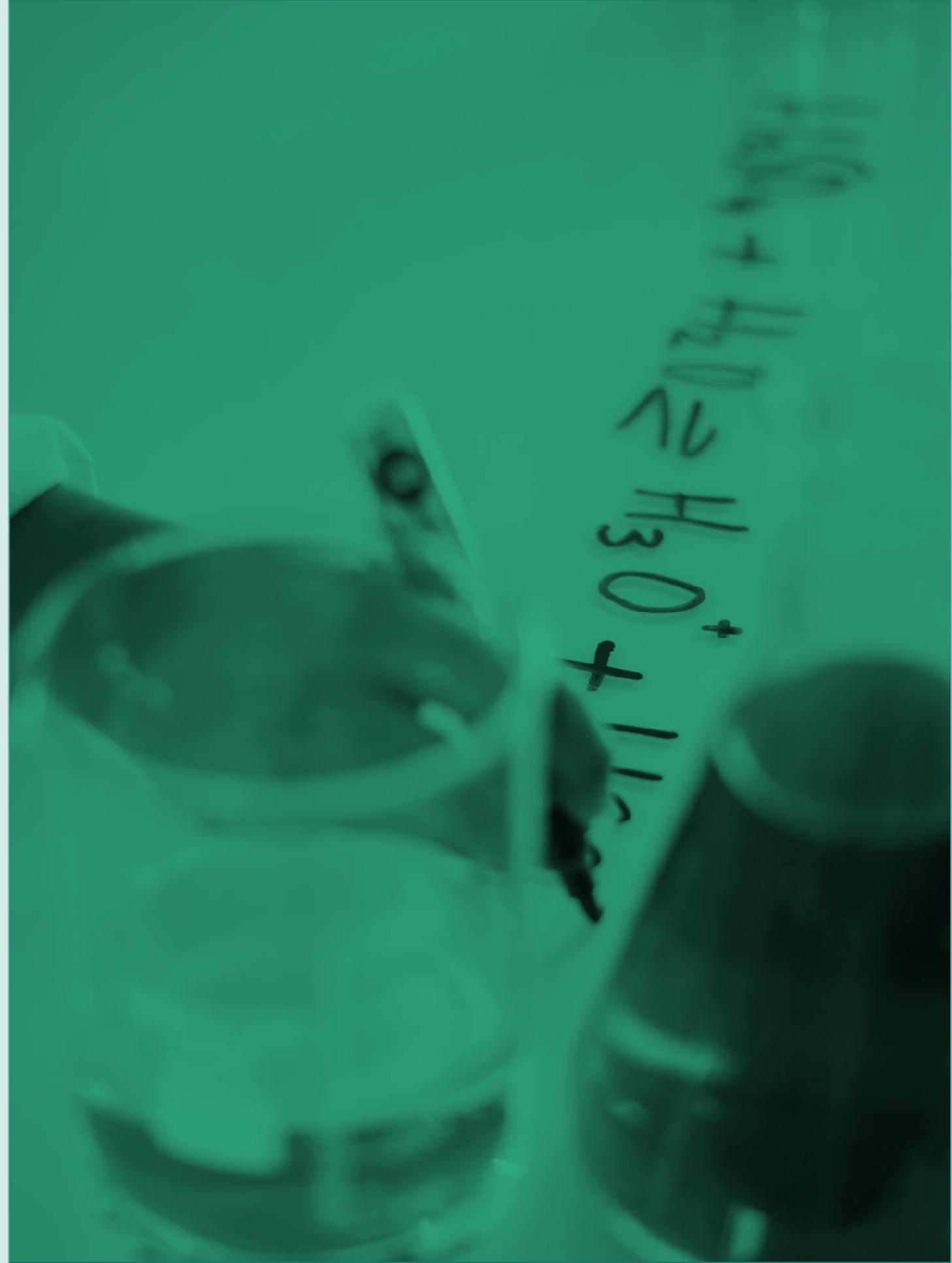
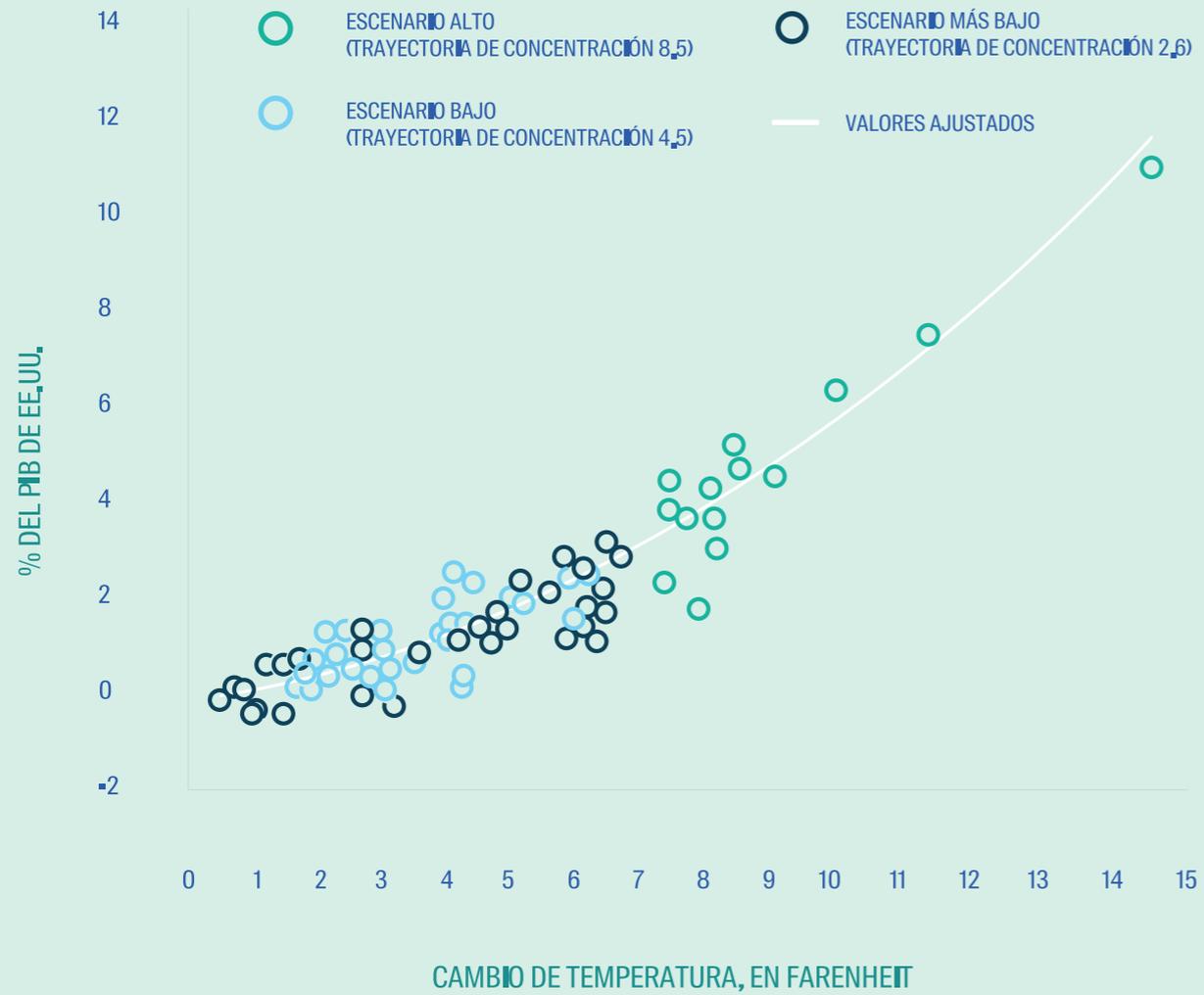
Un problema similar se produce en el mar. La disminución de la salud de los océanos inducida por el clima podría costar a la economía global 428.000 millones por año hasta 2050 y 1,98 billones por año hasta 2100. Acertar en el diagnóstico es clave para que todos los países implementen reformas de gestión

pesquera adaptadas al clima que aborden los cambios debidos al cambio climático tanto en la distribución de especies como en la productividad. Muchos países podrían, de hecho, mantener o mejorar las ganancias y las capturas en el futuro con una adaptación efectiva<sup>26</sup>. Ahora mismo, las viviendas expuestas al aumento del nivel del mar se venden por aproximadamente un 7% menos que las propiedades no expuestas equivalentes equidistantes de la playa. Este descuento ha crecido con el tiempo y está impulsado por compradores sofisticados y comunidades preocupadas por el calentamiento global<sup>27</sup>. Así como Moody's y Standard & Poor's califican la solvencia de las empresas privadas para ayudar a informar las decisiones de los inversores. Un conjunto creciente de empresas busca evaluar los riesgos climáticos espacialmente refinados, que van desde inundaciones hasta calor extremo y riesgo de incendios forestales. Estas empresas incluyen Climate Check, First Street Foundation, Jupiter Intelligence, Moody's ESG Solutions Group y RMS<sup>28</sup>.

Fuente: National Climate Assessment

FIGURA 3.

**LOS COSTES DEL CAMBIO CLIMÁTICO.** ESTE GRÁFICO MUESTRA CÓMO ESTIMA LOS COSTES EL PANEL NACIONAL DEL CLIMA DE EE.UU., UTILIZANDO LAS MATEMÁTICAS PARA SIMULAR DIFERENTES ESCENARIOS FUTUROS DE VARIACIÓN DE LA TEMPERATURA Y SU IMPACTO EN EL PIB DEL PAÍS.





## *El potencial de España*

### **España ocupa el quinto puesto en Europa en número de empresas y de trabajadores en el sector de Earth Observation**

En cuanto a España, nuestro país ocupa el quinto puesto en Europa en número de empresas y de trabajadores en el sector de EO. Un ejemplo de ello es Detektia, una spin-off de la Universidad Politécnica de Madrid con más de 20 años de investigación aplicada en monitorización de suelos e infraestructuras. Ha sistematizado la experiencia del Laboratorio de Topografía y Geomática en investigación aplicada para crear una solución web que se adapta a diferentes infraestructuras y permite el análisis de la integración de los resultados del procesamiento DInSAR con inteligencia artificial, facilitando la interpretación y toma de decisiones.

### *El modelo probabilístico del CSIC permite explicar la red de correlación del clima de la Tierra a escala planetaria*

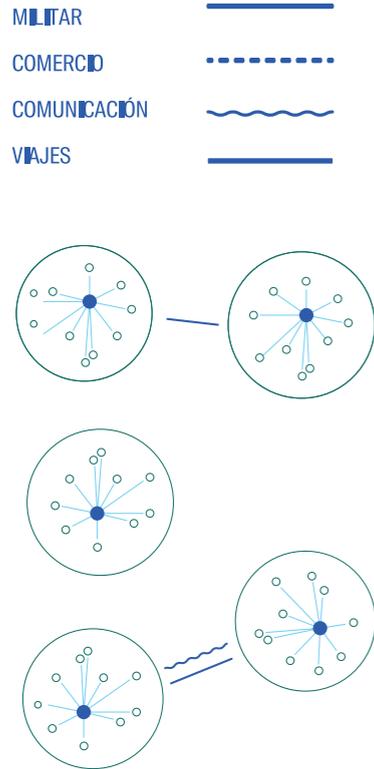
Una de las líneas de investigación más interesantes es el modelo probabilístico para explicar la red de correlación del clima de la Tierra a escala planetaria propuesto por un equipo de investigadores del Consejo Superior de Investigaciones Científicas (CSIC). El nuevo método no se basa en la correlación, sino en la relevancia estadística de una conexión

para explicar los datos con un modelo estadístico completo. De esta manera es posible describir, por ejemplo, la probabilidad de tener una temperatura determinada en cada lugar del planeta. En concreto, los investigadores han estudiado los efectos globales del fenómeno de El Niño, consistente en un calentamiento cíclico cada 3 o 7 años del océano Pacífico, que se refleja en el Índico con un sobrecalentamiento y un enfriamiento en Oceanía<sup>29</sup>.

Un equipo de investigación de la Universitat de València ha desarrollado una metodología de inteligencia artificial (IA) que permite generar, solo con datos, mapas globales de interacción causal entre regiones y variables climáticas. El trabajo, publicado en Scientific Reports, saca a la luz relaciones concretas hasta ahora desconocidas que ayudarán a mejorar la comprensión del sistema Tierra y de su evolución. La técnica de mapeo cruzado convergente robusta, RCMM, es la nueva metodología desarrollada en el Image Processing Laboratory (IPL) de la Universitat de València. Esta resuelve las debilidades del sistema anterior de CCM llevando a escala global lo que solo podía aplicarse a escalas locales.

Fuente: Complex Systems Thinking / Professor Yaneer Bar-Yam.

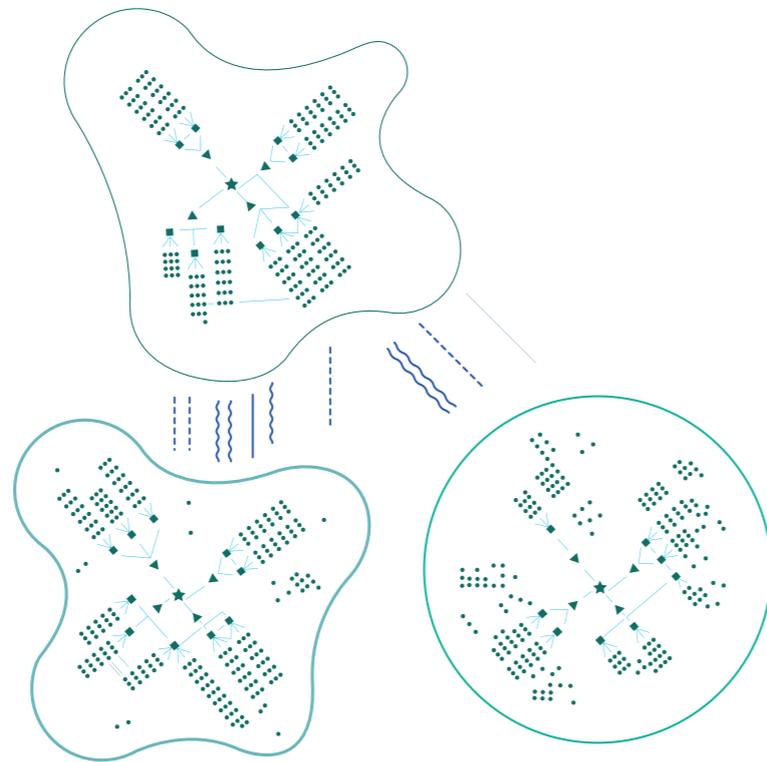
## TOPOLOGÍA



CAZADOR-RECOLECTOR

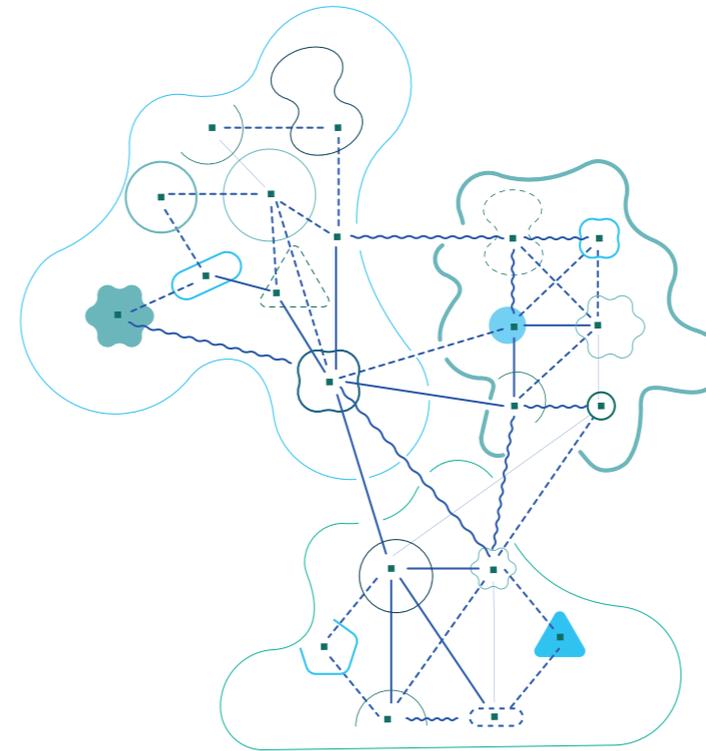
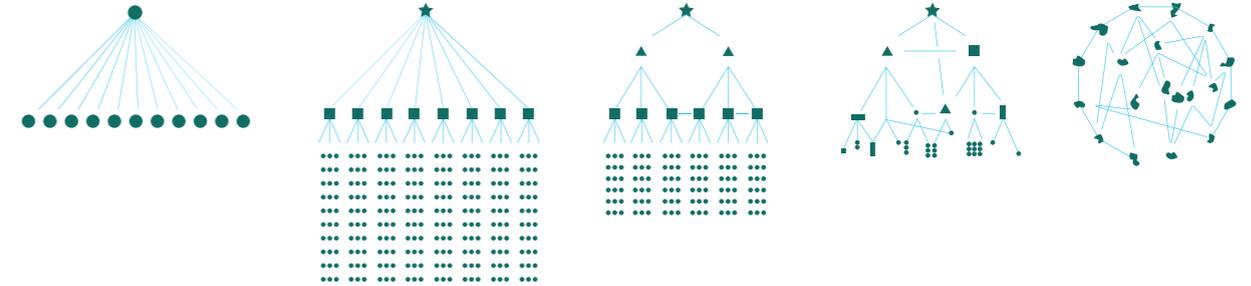
FIGURA 4.

**SISTEMAS COMPLEJOS.** LAS MATEMÁTICAS PERMITEN MODELIZAR NUESTRA SOCIEDAD COMO UN SISTEMA COMPLEJO, CON DIFERENTES NODOS INTERCONECTADOS. ESTOS MÉTODOS MATEMÁTICOS ENCUENTRAN APLICACIONES EN LA SIMULACIÓN DESDE PEQUEÑOS SISTEMAS BIOLÓGICOS HASTA SOCIEDADES ENTERAS. LAS MATEMÁTICAS INVADEN UN SINFIN DE ASPECTOS DE LA REALIDAD; CONTRIBUYEN AL CRECIMIENTO ECONÓMICO ASEGURANDO UN AVANCE SOSTENIBLE.

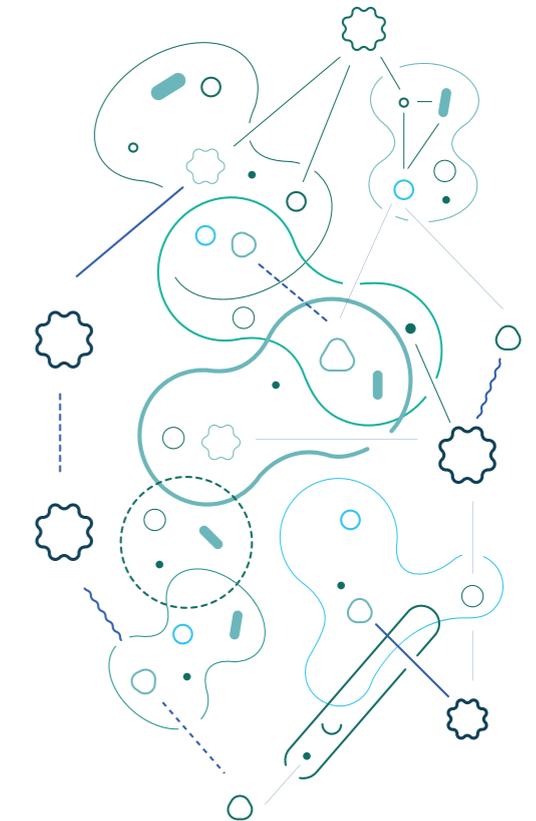


CIVILIZACIONES ANTIGUAS

## ESTRUCTURA DE CONTROL



REVOLUCIÓN INDUSTRIAL



HÍBRIDO



## Aplicación e impacto

### Conjuntos de datos para entender el uso del agua de las plantas, sus res- puestas a la sequía y los procesos ecohidrológicos

Hay motivos para el optimismo. El sector espacial europeo ha ido mejorando los datos y servicios de EO (Earth Observation), en particular basándose en la actividad de Sentinels y Copernicus Contributing Missions (CCM), esenciales para monitorizar algunos de los problemas globales más graves de la actualidad, como cambio climático, pérdida de biodiversidad y degradación de ecosistemas<sup>30</sup>. Iniciativas como SAPFLUXNET son capaces de acumular 202 conjuntos de datos distribuidos globalmente con series temporales de flujo de savia para 2.714 plantas, en su mayoría árboles, de 174 especies. Se suman así a otros conjuntos de datos que nos ayudan a monitorizar rasgos de plantas, las redes de flujo de ecosistemas y los servicios de detección remota. Estos conjuntos de datos nos permiten aumentar nuestra comprensión del uso del agua de las plantas, las respuestas a la sequía y los procesos ecohidrológicos<sup>31</sup>.

Las grandes corporaciones tecnológicas que se disputan el mercado mundial de alojamiento de datos en la nube se están convirtiendo cada vez más en socios clave e intermediarios indispensables para brindar información, casi en tiempo real, al acortar la recepción de datos y análisis. Google, Apple, Meta, Amazon y Microsoft están creando vínculos especiales con los operadores de EO. Empresas como Airbus Defence and Space (a través de su plataforma OneAtlas, alojada en AWS) y Maxar (a través de GBDX, en Google Cloud)

ofrecen acceso instantáneo a toda su biblioteca con imágenes de preprocesamiento automatizado y herramientas online. El modelo Ground Station-as-a-Service se impone con el anuncio del lanzamiento de Microsoft Azure Orbital. Todo ello permite impulsar nuevas propuestas, como las de Capella Space e Iceye, que también están utilizando la infraestructura de Big Data de GAFAM para ampliar su negocio. En China, el ecosistema BATX (Baidu, Alibaba, Tencent, Xiaomi) proyecta una gran expansión en este ámbito, pese a que la mayor parte de la información recopilada de los satélites está diseñada para aplicaciones de seguridad.

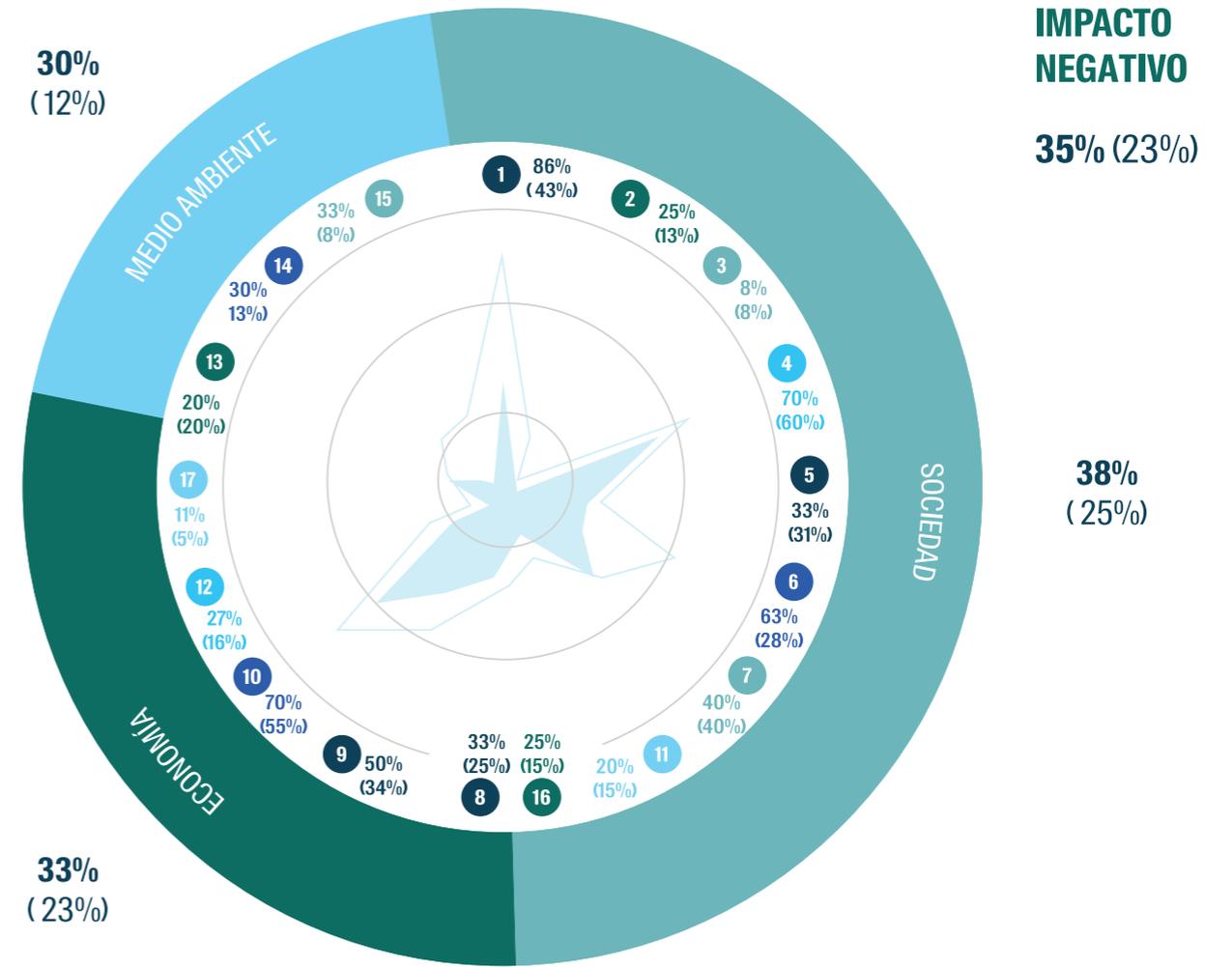
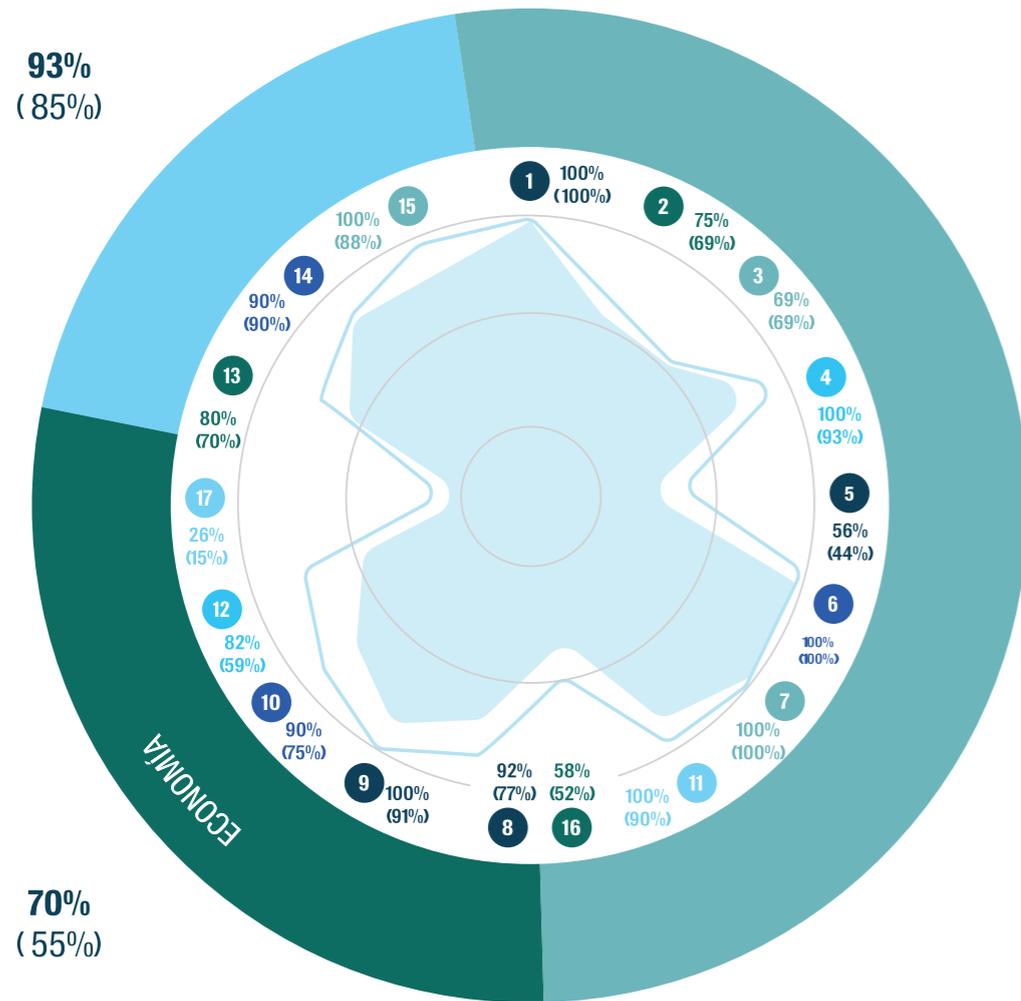
#### *Contratos de futuro en la Bolsa de Chicago.*

Pero hay un lugar en el que las matemáticas están demostrando funcionar con enorme eficacia en relación con el cambio climático. La Bolsa de Chicago (CME) ofrece contratos de futuros para ocho ciudades sobre dos productos meteorológicos principales: grados día de refrigeración (verano) y grados día de calefacción (invierno). Los contratos se negocian antes del mes en el que se vigila el clima y, por lo tanto, proporcionan una medida directa de la visión del mercado sobre el clima futuro. Lo sorprendente es que los mercados de capitales no sólo anticipan los acontecimientos climáticos imprevistos que rompen la media, sino que además no han actualizado sus predicciones de forma miope en función de los resultados meteorológicos del año anterior, sino que anticipan la evolución de la temperatura de forma proactiva, y dirigen así sus inversiones hacia un clima cada vez más cálido, en línea con las estimaciones del cambio climático. Su principal fuente de información es el sistema NASA NEX-GDDP. El mercado ha estado valorando, en definitiva, con precisión el cambio climático, en gran medida de acuerdo con los modelos climáticos globales, desde principios de la década de 2000, cuando se formaron los mercados de futuros meteorológicos.

Fuente: R. Vinuesa et al. Nature Communications, 2020, DOI: 10.1038/s41467-019-14108-y

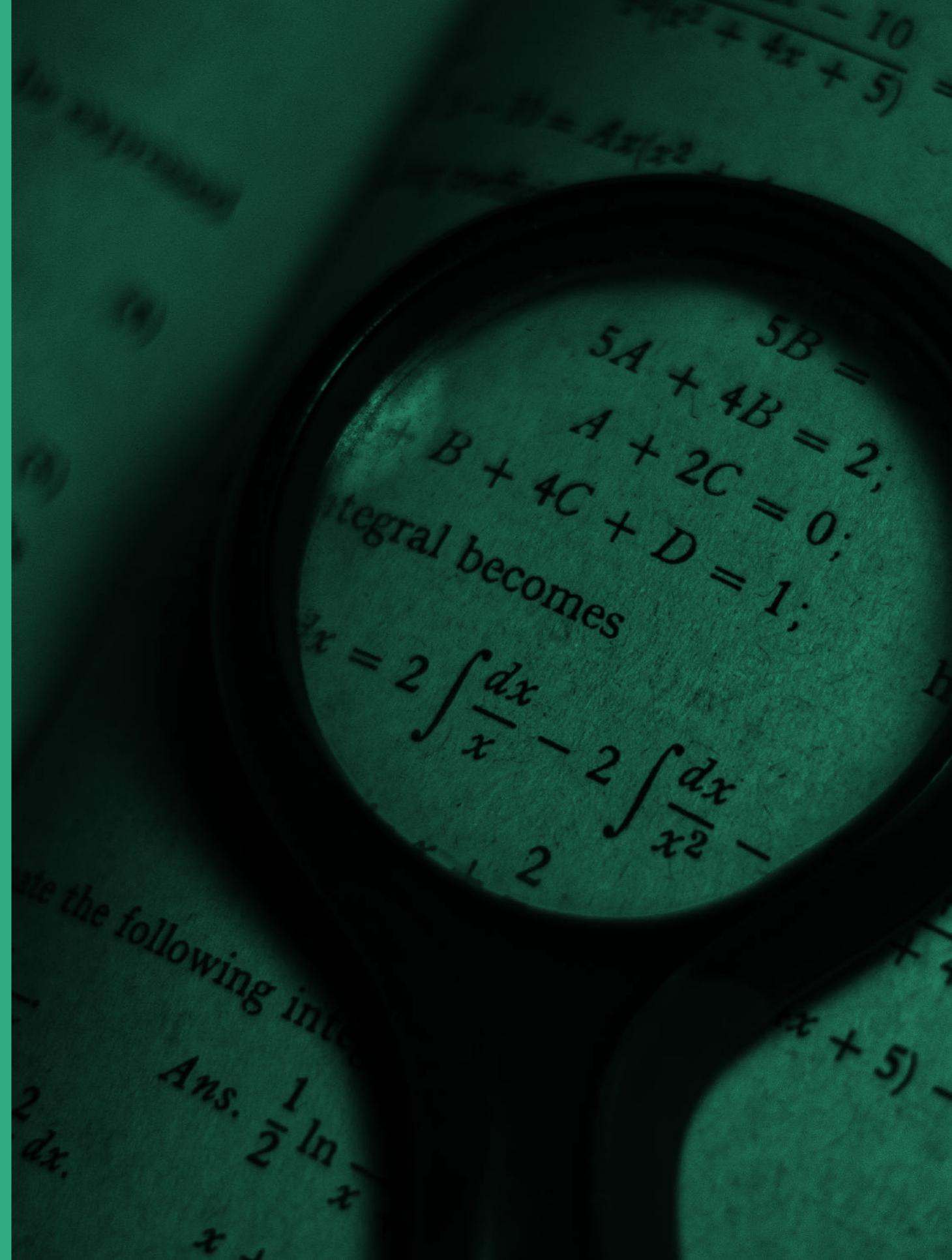
FIGURA 5.

**IMPACTO DE LA INTELIGENCIA ARTIFICIAL EN SOSTENIBILIDAD.** ESTA GRÁFICA REPRESENTA LOS IMPACTOS POSITIVOS (IZQUIERDA) Y NEGATIVOS (DERECHA) DE LAS APLICACIONES DE LAS MATEMÁTICAS Y LA INTELIGENCIA ARTIFICIAL EN SOSTENIBILIDAD. CADA PUNTO REPRESENTA UNO DE LOS OBJETIVOS DE DESARROLLO SOSTENIBLE ESTABLECIDOS POR LA ONU.



## ◆ Conclusiones

En general, las matemáticas son omnipresentes. Están detrás de millones de procesos y productos cotidianos y, por lo tanto, son fundamentales para facilitar la transición a una economía circular y un mundo más sostenible. Apostar por el desarrollo en matemáticas contribuirá, sin duda, a luchar contra la crisis climática. El respaldo de investigadores, empresas y gobiernos a esta tecnología es una garantía de progreso.



1. S. Levin. Notices of the AMS, 2013, 60, 392, DOI: 10.1090/noti982.
2. The Nobel Prize (2021). **“The Nobel Prize in Physics 2021”**. Consultado el 21 de febrero de 2022.
3. Plus Magazine (2015). **“Maths in a minute: The Navier-Stokes equations”**. Consultado el 21 de febrero de 2022.
4. Plus Magazine (2016). **“Climate change: Does it all add up?”**. Consultado el 21 de febrero de 2022.
5. Predictia (2021). **“¿Qué valor aporta la predicción meteorológica?”**. Consultado el 21 de enero de 2022.
6. Predictia (2021). **“A portal to all possible climate futures.”** Consultado el 21 de enero de 2022.
7. Swissinfo (2017). **“Doing the maths to solve renewable energy”**. Consultado el 21 de enero de 2022.
8. W. Zou et al. Nature Communications, 2015, DOI: 10.1038/COMMS8709.
9. H. Delavar y H. Sahebi. Heliyon, 2021, 6, e03190, DOI: 10.1016/j.heliyon.2020.e03190
10. Agencia SINC (2014). **“Modelos matemáticos predicen la supervivencia o extinción de especies”**. Consultado el 21 de febrero de 2022.
11. CORDIS (2011). **“Math model offers clues into ecosystem activity”**. Consultado el 21 de febrero de 2022.
12. V. Greenwood. **“How Nature Defies Math in Keeping Ecosystems Stable”**. Quanta Magazine, 26 de septiembre de 2018. Consultado el 21 de febrero de 2022.
13. L. Retcofsky. **“A mathematical approach to protecting endangered plants”**. Phys.org, 25 de enero de 2022. Consultado el 21 de febrero de 2022.

14. Science Daily (2022). **“Computer models show how crop production increases soil nitrous oxide emissions”**. Consultado el 21 de febrero de 2022.
15. A. Saltelli et al. Nature, 2020, 582, 482, DOI: 10.1038/d41586-020-01812-9.
16. Randall Lane, **“Bill Gates just released the math formula that Will solve Climate change”**, Forbes, 23 de Febrero de 2016
17. C.B. Obe. **“The Mathematics of Climate Change”**. Gresham College, 13 de noviembre de 2018, consultado el 28 de febrero de 2022.
18. O. Walker y C. Hodgson, **“Does the maths on Mark Carney’s \$130tn net zero pledge stack up?”**. Financial Times, 4 de noviembre de 2021, consultado el 28 de febrero de 2022.
19. M. Krishnan, et al. **“The net-zero transition”**. Mckinsey Global Institute, enero de 2022, consultado el 14 de febrero de 2022.
20. K. Henderson, et al. **“Climate math: What a 1.5-degree pathway would take”**. McKinsey Global Institute, abril de 2020, consultado el 24 de febrero de 2022.
21. BCE (2021). **“Climate-related risk and financial stability”**. Consultado el 28 de febrero de 2022.
22. S. Listgarten. **“The difficult calculation where math and humanity intersect”**. Palo Alto Online, 9 de enero de 2022, consultado el 28 de febrero de 2022.
23. K. Rennert, et al. **“The Social Cost of Carbon: Advances in Long-Term Probabilistic Projections of Population, GDP, Emissions, and Discount Rates”**. Resources for the Future, octubre de 2021, consultado el 25 de febrero de 2022.

24. VV.AA. **“Valuing Climate Damages: Updating Estimation of the Social Cost of Carbon Dioxide”**, National Academies of Sciences, Engineering, and Medicine, 2017, DOI: 10.17226/24651.
25. I. Parry, **“Putting a price on pollution”**. Finance and Development, Fondo Monetario Internacional, diciembre de 2019, consultado el 28 de febrero de 2022.
26. S. Gaines et al. **“The Expected Impacts of Climate Change on the Ocean Economy”**. World Resources Institute, 2019, consultado el 25 de febrero de 2022.
27. A. Bernstein et al. Journal of Financial Economics, 2019, DOI: 10.1016/j.jfineco.2019.03.013.
28. M.E. Kahn, **“Why the cost of mitigating climate change can’t be boiled down to one right number, despite some economists’ best attempts”**. The Conversation, 22 de febrero 2022, consultado el 28 de febrero de 2022.
29. C.E. Graafan, et al. Sci. Rep., 2020. 10, 11484, DOI: 10.1038/s41598-020-67970-y.
30. Comisión Europea (2017). **“Big Data in Earth Observation”**. Consultado el 28 de febrero de 2022.
31. R. Poyatos et al. Earth Syst. Sci. Data, 2021, 13, 2607-2649, DOI: 10.5194/essd-13-2607-2021
32. A. Conte, **“Big Data gaining ground with Earth Observation operators”**. SpaceNews, 19 de abril de 2021, consultado el 28 de febrero de 2022.
33. W. Schlenker y C.A. Taylor, **“Market expectations about climate change”**, National Bureau of Economic Research, febrero de 2019, DOI: 10.3386/w25554.

# 06. Metaverso

Sistemas más eficientes para la generación de energía, la digitalización, el estudio de los ecosistemas y el cambio climático.

/ Nuevas formas de experiencia  
/ Descubrimiento de entornos relacionales  
/ Creador de nuevas formas de riqueza



/ Avances en infraestructuras de telecomunicaciones  
/ Interfaces humanos  
/ Desarrollo de aplicaciones, industria publicitaria y comercio electrónico



## En clave

El año pasado analizamos las oportunidades de la realidad aumentada. Ahora, las empresas tecnológicas han ido un paso más allá proponiendo el concepto de metaverso: un espacio de realidad integrada que cambiará la forma de interactuar con los ordenadores, pero también la forma de relacionarnos entre nosotros. Este nuevo ecosistema virtual ha creado mucha expectación y, al mismo tiempo, mucha especulación. En cualquier caso, las grandes apuestas de Facebook, Microsoft y Google, entre otras, por las tecnologías del metaverso revelan un enorme potencial. En unos años, el metaverso será una realidad. Y traerá de la mano muchos avances tecnológicos fundamentales para la nueva web 3.0.



## La tecnología

**Un nuevo espacio híbrido (hardware y software), donde explorar, crear e interactuar con otros usuarios a distancia**

Es complicado explicar una tecnología tan nueva como el metaverso. Quizás lo más sencillo sea imaginarla como clásicos juegos de ordenador, como los Sims o Second Life, que simulaban un universo digital de vidas paralelas, pero con muchas capas más de interacción y colaboración con el mundo real. De hecho, uno de los mayores atractivos del metaverso radica en poder conectarse a las diferentes plataformas a través de realidad virtual, realidad aumentada y realidad mixta – una combinación de las dos. La llegada del metaverso difuminará la frontera entre la vida real y el entorno digital. Nuestras vidas digitales no serán un juego, no tendrán trucos; serán una extensión de nuestra vida real donde trabajar de forma colaborativa, estudiar, realizar operaciones bancarias, incluso aumentar nuestras posibilidades de ocio<sup>1</sup>. Por ejemplo, la empresa de videojuegos Epic (que comercializa *Fornite*, *League of Legends* y *Cyberpunk*, entre otros) anunció recientemente una inversión de mil millones de dólares para desarrollar su particular visión del metaverso, en colaboración con el gigante japonés Sony. Según su comunicado, los juegos en el metaverso permitirán nuevos niveles de interacción entre participantes, aumentando la emoción y mejorando la experiencia virtual<sup>2</sup>.

El término original para esta plataforma surge de una novela del escritor estadounidense Neal Stephenson: *Snow Crash*. Según este autor, algunos términos como “realidad virtual” eran imprecisos para describir la idea del metaverso, un mundo virtual colectivo y compartido en el que avatares virtuales

de personas reales interactúan y colaboran a través de la tecnología e internet. El interés por el metaverso resurgió en 2021, apoyado sobre todo por Facebook que, en mayo, anunció tener un equipo entero dedicado al estudio y desarrollo de esta tecnología. Pocos meses más tarde, la multinacional estadounidense reforzó su apuesta con un cambio de marca completo que, según fuentes oficiales, reflejaba las ambiciones de crecer mucho más allá de las redes sociales y crear una nueva plataforma que podría convertirse en la sucesora de internet tal y como lo conocemos actualmente. Facebook se transformó en la nueva Meta. Su presidente, Mark Zuckerberg, prevé que el metaverso llegará en algún momento de la próxima década, pero tardará tiempo en adoptarse a una escala global. Sin embargo, su apuesta es clara: Meta dedicará casi diez mil millones de dólares a construir esta realidad paralela, que incluirá entre otros muchos avances dispositivos para realidad virtual y gafas inteligentes para realidad aumentada. Todas estas tecnologías de hardware estarán interconectadas, creando nuevas posibilidades de interacción a través de software<sup>3</sup>.



Fuente: Iberdrola

**FIGURA 1.**

**¿QUÉ ACTIVIDADES PODRÍAMOS REALIZAR EN EL METAVERSO?.** EL METAVERSO ES UN MUNDO VIRTUAL COLECTIVO Y COMPARTIDO EN EL QUE AVATARES VIRTUALES DE PERSONAS REALES INTERACTÚAN Y COLABORAN A TRAVÉS DE LA TECNOLOGÍA E INTERNET. EN ESE MUNDO PODEMOS JUGAR, DISFRUTAR, TRABAJAR, COMPRAR, OBSERVAR Y SOCIALIZAR.

**JUGAR**

LLEVAR LOS VIDEOJUEGOS AL SIGUIENTE NIVEL, OFRECIENDO EXPERIENCIAS TOTALMENTE INMERSIVAS.

**DISFRUTAR**

INGRESAR DE FORMA VIRTUAL EN UN CONCIERTO, U OTRA FORMA DE OCIO, Y VIVIR LA EXPERIENCIA DE FORMA INMERSIVA.

**TRABAJAR**

CREAR NUESTROS PROPIOS ESPACIOS DE TRABAJO VIRTUALES, DE HECHO FACEBOOK (META) YA ESTÁ IMPULSANDO UN PROYECTO ASÍ.

**COMPRAR**

INTERACTUAR CON LAS MARCAS Y HACERSE CON OBJETOS VIRTUALES, PERO TAMBIÉN REALES, EN LAS TIENDAS DEL METAVERSO.

**OBSERVAR**

EL METAVERSO TENDRÁ, DIGAMOS, VIDA PROPIA, POR LO QUE FORMAREMOS PARTE ACTIVA DE SU DÍA A DÍA Y DE SU EVOLUCIÓN.

**SOCIALIZAR**

AL DISPONER DE AVANCES PERSONALIZADOS, SE CREARÁN EXPERIENCIAS DE GRUPO QUE FACILITARÁN LA INTERACCIÓN SOCIAL.



**Teletrabajo.**

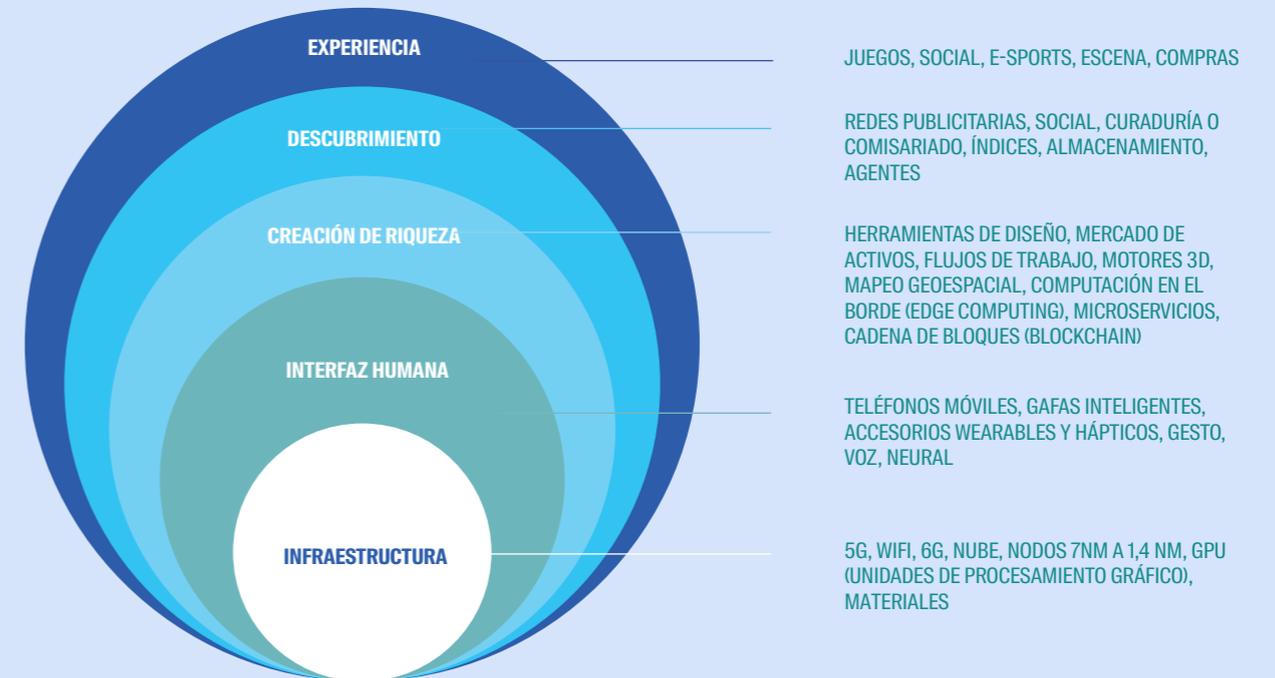
En medio de la pandemia de COVID-19, parece inevitable imaginar el metaverso como una nueva alternativa para el teletrabajo. De hecho, este es uno de los aspectos que resaltó Zuckerberg en su presentación: la posibilidad de colaborar en reuniones híbridas de una forma mucho más dinámica. Gracias al metaverso, tu avatar puede interactuar con otros compañeros, intercambiar opiniones, dibujar en una pizarra, mientras tú estás sentado cómodamente en tu escritorio. Sin embargo, esto no es más que un pequeño ejemplo de las posibilidades del metaverso, una tecnología que varias empresas de todo el mundo están explorando para muchas aplicaciones diferentes. De hecho, el vicepresidente de Meta ya anunció cómo las intenciones de la compañía iban mucho más allá de las reuniones virtuales. El metaverso tiene el potencial de desbloquear el acceso a nuevas oportunidades creativas, sociales y económicas. Aunque ya hemos visto el potencial del metaverso en la industria de los videojuegos, cabe destacar otras oportunidades de esta tecnología en el mundo del entretenimiento. Según los expertos, combinar las experiencias de realidad virtual y realidad aumentada creará mundos y entornos más inmersivos, así como nuevas experiencias de ocio más creativas. Incluso antes de los anuncios de Facebook y Meta, los expertos vaticinaban la emergencia del metaverso como un nuevo espacio donde explorar, crear e interactuar con otros usuarios a distancia.

Un ejemplo de éxito fue el concierto digital 'Studio 2054' de la artista Dua Lipa, que consiguió más de cinco millones de visitas en directo y una taquilla de sesenta millones de dólares. El metaverso podría magnificar este tipo de eventos y convertirlos en experiencias mucho más allá de las videollamadas, donde poder disfrutar de un concierto bailando con amigos que, en realidad, están en sus casas. Otro ejemplo de éxito es una de las últimas atracciones del parque Disneyland en California: *Star Wars Galaxy Edge*. El desarrollo de esta experiencia inmersiva costó casi mil millones de dólares, pero ofrece un tipo de entretenimiento único en el mundo, gracias a una plataforma que permite a los visitantes utilizar espadas láser, montar en naves espaciales como el Halcón Milenario y visitar diferentes planetas y batallas famosas de la saga de la Guerra de las Galaxias. Actualmente, Disney planea expandir este tipo de experiencias a hoteles y resorts, ofreciendo nuevas oportunidades y todavía más flexibilidad para creativos y marcas. Netflix también

Fuente: medium.com.

**FIGURA 2.**

**LAS CINCO CAPAS DEL METAVERSO.** MÁS ALLÁ DE LAS REUNIONES VIRTUALES, EL METAVERSO TIENE EL POTENCIAL DE IMPULSAR EL ACCESO A NUEVAS OPORTUNIDADES CREATIVAS, SOCIALES Y ECONÓMICAS. ESTE UNIVERSO OFRECE VARIAS CAPAS DE INTERACCIÓN. POR UN LADO, PROMUEVE NUEVAS FORMAS DE EXPERIENCIA Y EL DESCUBRIMIENTO DE ENTORNOS RELACIONALES. POR OTRO, SU POTENCIAL COMO CREADOR DE NUEVAS FUENTES DE RIQUEZA SE SUPERPONE A UNA DIVERSA SERIE DE INTERFACES HUMANOS. Y EN LA BASE DE TODO, SE ENCUENTRA EL SOPORTE DE UNA INFRAESTRUCTURA LIGADA A LAS TELECOMUNICACIONES.



está explorando el metaverso a través de series interactivas con diferentes finales alternativos, así como exposiciones virtuales inmersivas en colaboraciones con museos en Nueva York. Muchos analistas esperan también que el metaverso desate la creatividad y la colaboración entre los usuarios. En 2020, por ejemplo, fans de Pixar de todo el mundo crearon un musical colectivo basado en *'Ratatouille'* a través de la plataforma de vídeos online TikTok. Seguro que el metaverso motiva iniciativas similares<sup>5</sup>.

### *Telemedicina: los terapeutas guiarán a sus pacientes por mundos virtuales programados para fomentar la recuperación*

El metaverso también abre nuevas oportunidades en campos como la educación a distancia y la telemedicina. Gracias a la indudable mejora de las conexiones a internet, el metaverso podría transformar nuestra forma de tratar enfermedades. Por ejemplo, unos neurocirujanos del hospital John Hopkins, en Maryland, EE. UU., llevaron a cabo varias operaciones utilizando aplicaciones de realidad virtual que les permitían solapar imágenes de escáneres y radiografías con su experiencia en tiempo real con los pacientes. Los avances del metaverso podrían permitir intervenciones a larga distancia, democratizando la medicina y permitiendo tratamientos personalizados. Estos sistemas también se han utilizado para aumentar la veracidad de modelos para la educación y el entrenamiento de jóvenes médicos. La realidad aumentada del metaverso permite utilizar maniqués que, a través de las lentes digitales, simulaciones por ordenador e imágenes de pacientes, sufren enfermedades reales. La psicología y la psiquiatría también han explorado la utilización de sistemas similares al metaverso para tratar trastornos como, por ejemplo, el estrés postraumático. Gracias a los entornos digitales y los dispositivos desarrollados por Meta, y también por compañías como HP y Magic Leap, los terapeutas pueden guiar a sus pacientes por mundos virtuales programados para fomentar la recuperación, así como situaciones simuladas y controladas de exposición al estrés para evaluar el ritmo de mejora. Aunque el metaverso todavía está dando sus

primeros pasos, los investigadores médicos están expectantes por ver resultados y ven un potencial tremendo para transformar y mejorar el sistema de salud pública<sup>6</sup>.

#### *Educación.*

En los centros educativos el metaverso también podría aportar un enorme valor añadido, creando nuevas experiencias de aprendizaje, tal y como explicó Meta durante su lanzamiento<sup>7</sup>. A través de la integración coordinada de nuevas tecnologías y metodologías pedagógicas basadas en la evidencia, el metaverso puede facilitar el aprendizaje y mejorar las oportunidades de las comunidades más desfavorecidas. Por supuesto, una gran parte del éxito radicará en entrenar correctamente a la comunidad docente en el uso de las plataformas del metaverso, dado que las clases en línea plantean nuevos retos, a menudo olvidados por los planes educativos<sup>8</sup>.

Probablemente, el metaverso también transforme por completo nuestra economía. Los nuevos mundos virtuales crearán oportunidades tanto para los pequeños usuarios como para las grandes marcas. Muchos anticipan que estos sistemas económicos estarán basados en la tecnología de cadenas de bloques blockchain, la misma que soporta monedas digitales como Bitcoin y Ethereum y los sistemas de propiedad basados en archivos digitales encriptados, como los NFT. Sin embargo, la mayor parte de los estudios y artículos que sugieren fuertes dependencias entre el metaverso y el blockchain presentan grandes conflictos de intereses, al estar financiados por plataformas de inversión en criptomonedas. Es posible que el metaverso y las criptomonedas sienten las bases de la nueva web 3.0, pero solo el tiempo y el desarrollo de estas tecnologías digitales proporcionarán una respuesta<sup>9</sup>.

Fuente: SoftwareOne.

FIGURA 3.

**PERSPECTIVAS DE CRECIMIENTO DEL MERCADO DEL METAVERSO.** SEGÚN BLOOMBERG INTELLIGENCE, EL MERCADO DEL METAVERSO PODRÍA ALCANZAR LOS 800.000 MILLONES DE DÓLARES EN 2024. ESTO SOLO REPRESENTA EL MERCADO PRINCIPAL PARA LOS CREADORES DE JUEGOS EN LÍNEA, EL HARDWARE PARA JUEGOS, EL ENTRETENIMIENTO EN VIVO Y LAS REDES SOCIALES. SI BIEN TODOS ESTOS SERÁN PARTES CRUCIALES DEL ECOSISTEMA, EL METAVERSO A LARGO PLAZO DEBE INCLUIR EMPRESAS RELEVANTES DE COMPUTACIÓN, REDES Y PAGOS COMO PARTE DE SU INFRAESTRUCTURA.





## Retos y Oportunidades

**Impacto en desarrollo de aplicaciones, industria publicitaria y en comercio electrónico a través de redes sociales**

Es fácil dejarse llevar por el torrente de energía, y de inversión especulativa, desatado en torno al metaverso, pero conviene no incurrir en los errores del pasado al sobrevalorar las expectativas. Ya en 2008, la Comisión Europea presentaba un informe para liderar el desarrollo de la Web 3.0<sup>10</sup>, término que se suele atribuir a Garvin Wood, uno de los creadores de Ethereum, seis años después. El creador del concepto de Web 2.0, Tim O'Reilly, también hizo una llamada a la moderación y advierte de que para que la Web 3.0 se convierta en un sistema financiero de propósito general, o en un sistema general de confianza descentralizada, necesita desarrollar interfaces sólidas con el mundo real, sus sistemas legales y la economía operativa, algo que hoy en día no sucede<sup>11</sup>. Tampoco se han establecido aún estándares acordados para la interoperabilidad entre los múltiples metaversos, un punto crítico, ya que los consumidores esperan moverse y compartir activos virtuales y experiencias sin problemas en varias plataformas, y los desarrolladores esperan elegir libremente las herramientas multiplataforma más relevantes<sup>12</sup>.

### *Corporaciones del mundo físico.*

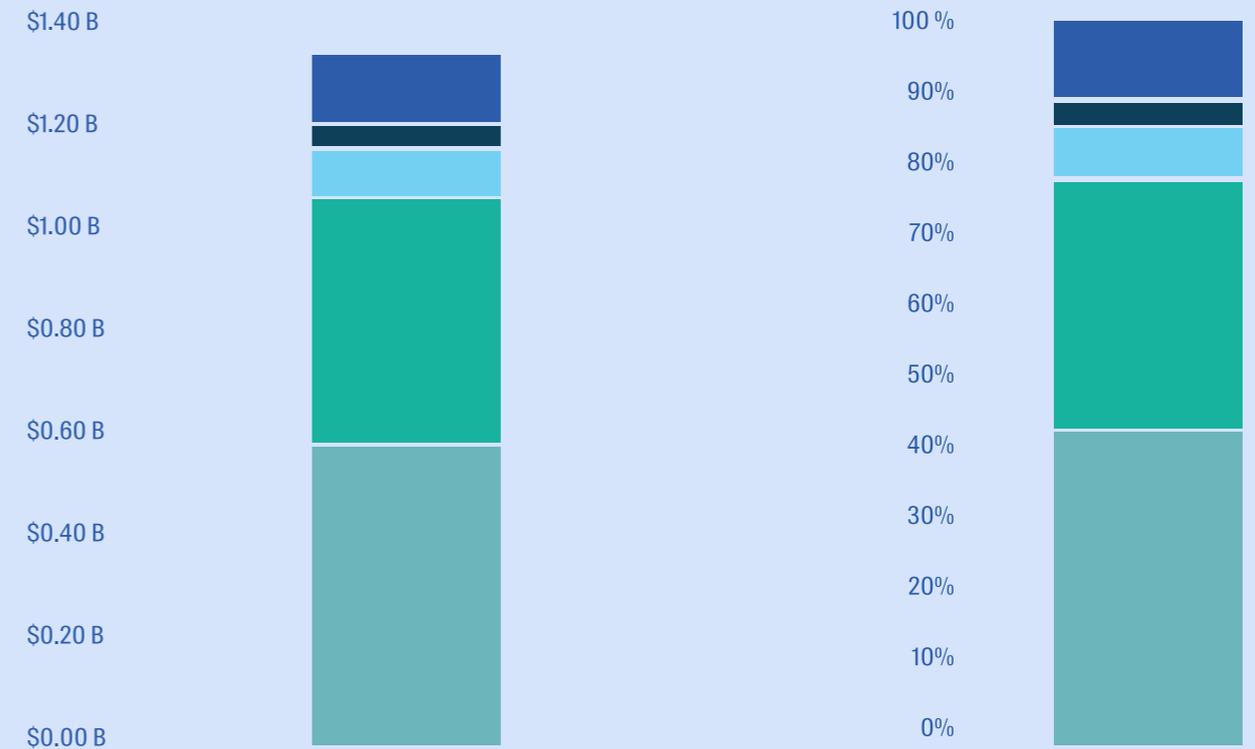
A pesar de eso, no sólo las grandes compañías tecnológicas y otras propuestas de éxito digitales, especialmente en el ámbito del gaming, anuncian planes ambiciosos para posicionarse en este nuevo mercado, como la contratación de 100.000 profesionales en Europa anunciada por Meta<sup>13</sup>. Sino también corporaciones tradicionales del mundo físico como Ralph Lauren, que en diciembre de 2021 había vendido ya 100.000 unidades de sus prendas en el metaverso, Dolce & Gabbana, Coca-Cola, Adidas, Nike<sup>14</sup> y la mayoría de fabricantes del sector del automóvil. Un sector que está volcado en la generación de experiencias inmersivas<sup>15</sup> para los ocupantes de sus futuros vehículos autónomos. Galerías de arte como Sotheby's permiten a exhibir y vender arte digital NFT en subasta; empresas criptográficas como Binance han establecido sus sedes digitales en el Metaverso donde los empleados pueden reunirse y colaborar; los dueños de propiedades virtuales han construido vallas publicitarias digitales para publicitar a los jugadores a cambio de una tarifa; la sala de juegos Atari contará con juegos dentro de Decentraland; y surgen salas de música donde DJs y músicos tocan música y dan concierto<sup>16</sup>.

Fuente: Global X ETFs, App Annie, Zenith, Gran View Research, BCG y Syz banca

**FIGURA 4.**

**MERCADO POTENCIAL GENERADO POR EL METAVERSO (EN MILES DE MILLONES DE DÓLARES).** EN LA IMAGEN SE EXPONEN LOS PRINCIPALES ÁMBITOS ECONÓMICOS SOBRE LOS QUE IMPACTARÁ EL METAVERSO, ENTRE ELLOS DESTACAN LA PUBLICIDAD, EL HARDWARE, EL COMERCIO SOCIAL, EL DESARROLLO Y CREACIÓN, ASÍ COMO LOS EVENTOS DIGITALES.

- HARDWARE
- EVENTOS DIGITALES
- COMERCIO SOCIAL
- PUBLICIDAD
- DESARROLLO/CREACIÓN



## *El metaverso centralizará un mercado global de eventos virtuales que ya se estima en 94.000 millones de dólares*

El metaverso disparará el sector de desarrollo y creación de aplicaciones; podría suponer un impacto de 500.000 millones de dólares para la industria global de publicidad en medios; entrará en la intersección entre el comercio electrónico y las redes sociales, que generó 475.000 millones de dólares a nivel mundial en 2020; centralizará un mercado global de eventos virtuales que ya se estima en 94.000 millones de dólares, a repartir entre los creadores de contenido y las plataformas de Metaverso que los alberguen estos eventos; para 2024, el mercado de hardware podría crecer de los 31.000 millones de 2021 a 297.000 millones.

## *La intersección entre el comercio electrónico y las redes sociales generó 475.000 millones de dólares a nivel mundial en 2020*

A todo ello hay que sumar las FinTechs, especialmente aquellas centradas en el espacio blockchain, que podrían desempeñar un papel fundamental, y es probable que cobren por las transacciones, las conversiones de moneda y los servicios de custodia. La tecnología de la nube se ocupará de asegurar la potencia de procesamiento y el almacenamiento. La realidad extendida y las interfaces inmersivas y las redes hiperconectadas, que aprovechan el 5G, están a punto de madurar. De modo que esa descentralización de las finanzas y la economía, respaldada por blockchain, hará posibles los sistemas financieros parcialmente automatizados<sup>17</sup>. El negocio inmobiliario virtual que se avecina es una de las manifestaciones más sorprendentes de la nueva evolución de internet: las ventas de inmuebles en las cuatro principales plataformas del Metaverso (Sandbox, Decentraland, Cryptovoxels y Somnium) alcanzaron los 501 millones de dólares en 2021, y podrían rebasar los 1.000

millones en 2022. El primer día de su puesta en venta, Sandbox vendió 90 de sus Fantasy Islands, con sus propias villas y un mercado relacionado de botes y motos de agua, por 15.000 dólares cada una y en poco tiempo cotizaban ya a 100.000<sup>18</sup>.

No obstante, es posible que haya que esperar a después de 2025 para el nacimiento de un nuevo sistema económico. La oportunidad de ingresos global del metaverso podría alcanzar los 783.300 millones de dólares en 2024 frente a los 478.700 millones de 2020, lo que representa una tasa de crecimiento anual compuesta del 13,1%<sup>19</sup>, no mucho mejor que otras tecnologías emergentes, aunque su tamaño total puede llegar a 2,7 veces el de los ingresos por publicidad, servicios y software de juegos.

### *Metaverso Industrial.*

Fuera de la tecnología de consumo podría haber una oportunidad más consistente en lo que se denomina ya metaverso industrial, como se ha puesto de manifiesto en eventos como IoT World Silicon Valley. Su potencial reside, entre otras cosas, en la posibilidad de diseñar espacios de fabricación virtuales en los que se puede entrenar a los trabajadores antes de implementar las máquinas en planta. Con dispositivos de realidad aumentada y virtual y con datos sintéticos, se puede empezar a jugar con robots virtuales y descubrir si realmente van a resolver los problemas de una empresa. Los empleados comenzarán a familiarizarse con una línea de producción a través de avatares en el gemelo digital, de modo que cuando se instale ya estarán formados. Para diseñar esos entornos virtuales, a través de los modelos de inteligencia artificial, los datos sintéticos son una pieza clave a nivel técnico y competitivo. La denominada brecha simulación-realidad se ha superado también con técnicas como la aleatorización de dominio (domain randomization) y más de 50 empresas ya proporcionan datos sintéticos con aplicaciones interesantes en retail, sector financiero o médico<sup>20</sup>.

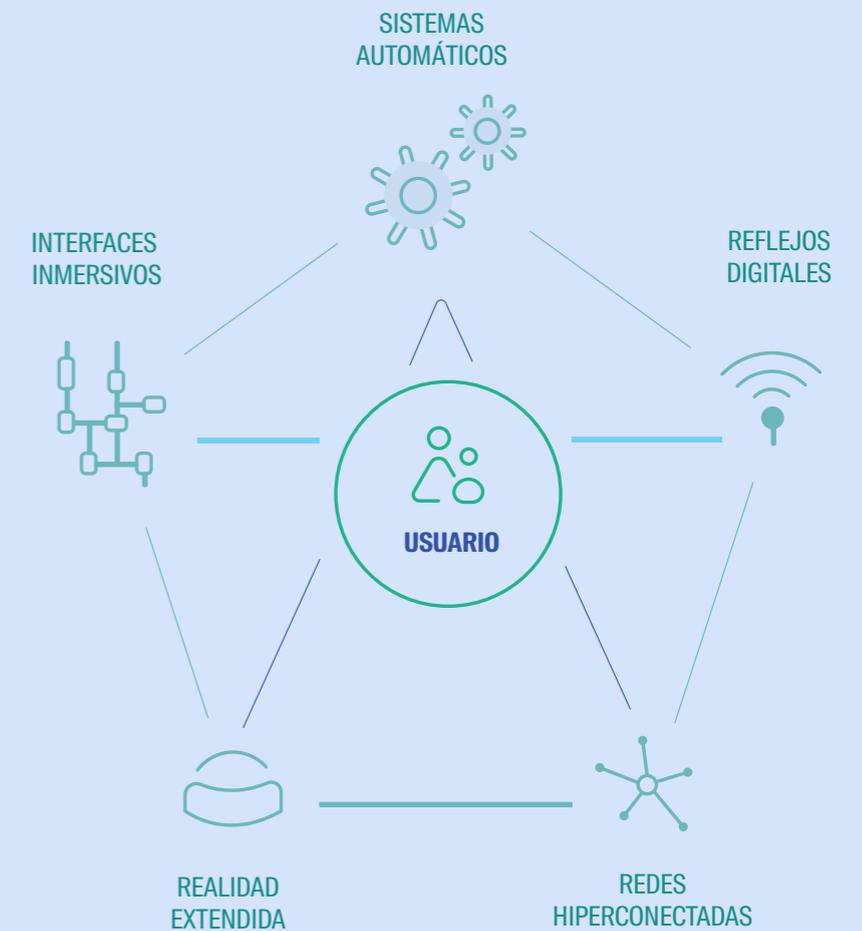
De igual modo, Microsoft trabaja en soluciones para el Enterprise Metaverse, una extensión de Microsoft Teams, que permitirá a los usuarios tener reuniones, realizar negocios y ponerse al día con colegas de todo el mundo utilizando avatares virtuales. Cuenta para ello con sus equipos de entretenimiento, con Xbox a la cabeza. Snapchat ha usado durante mucho tiempo avatares y filtros para aumentar la realidad, y ha creado

unas gafas que permiten a los usuarios superponer imágenes digitales en el mundo real, similares a las de Meta. Es la cuarta revolución de la computación, la llamada computación inmersiva dirigida a conseguir que podamos utilizar dispositivos de realidad virtual durante muchas horas de forma socialmente aceptada. Los desafíos tecnológicos pasan por el reconocimiento de las manos como 'mandos a distancia'; el desarrollo de Brain Computer Interface que permitan hacer clic con el pensamiento; la aplicación de muchas de las características del 5G, como la gestión y calidad de servicio, a los wearables; la evolución hacia el Wi-Fi 6, probablemente liberando la banda de los 6 GHz; y el incremento de la eficiencia del bluetooth desde el punto de vista de la potencia.

Fuente: PwC

FIGURA 5.

**PAISAJE DE ESPACIOS VIRTUALES CON IDENTIDADES TRANSFERIBLES.** LA SEMILLA DEL METAVERSO SOLO PUEDE PROPICIAR EL PREVISIBLE SALTO ECONÓMICO SI LOS ACTIVOS Y VALORES SON OPERABLES E INTERCAMBIABLES, COMO MUESTRA ESTE GRÁFICO. CUANDO LOS ACTIVOS, LAS TRANSACCIONES Y LAS IDENTIDADES EXISTEN SIMULTÁNEAMENTE EN LOS MUNDOS FÍSICO Y DIGITAL QUE COMPARTEN MILES DE MILLONES DE PERSONAS Y ORGANIZACIONES, ES POSIBLE QUE YA NO SE APLIQUEN LAS VIEJAS FORMAS DE GENERAR Y MANTENER LA CONFIANZA.





## *El potencial de España*

**Plataformas de visualización médica, chaquetas hápticas, conciertos virtuales y realidad mixta**

En cuanto a España, y dentro del Metaverso industrial, hay numerosas experiencias de empresas con soluciones aplicables. Arsoft ha diseñado NextMed, una plataforma de segmentación automática y visualización de imágenes médicas con realidad aumentada y realidad virtual, en la que los profesionales cargan los archivos DICOM que obtienen de Tomografías Computarizadas (TC) y, una vez recibidos los datos, el sistema elabora un modelo 3D de la estructura para estudiarlo haciendo uso de sus herramientas de procesamiento de información. OWO Game, dedicada a la transformación digital en el sector de los videojuegos, ha creado una chaqueta háptica de electroestimulación que, junto a los dispositivos de realidad virtual, como las gafas, mandos, volantes o pistolas, permite experimentar hasta 30 sensaciones diferentes en todo el cuerpo para sentir cada batalla, cada partida, como si fuera real, incluidos los impactos de bala.

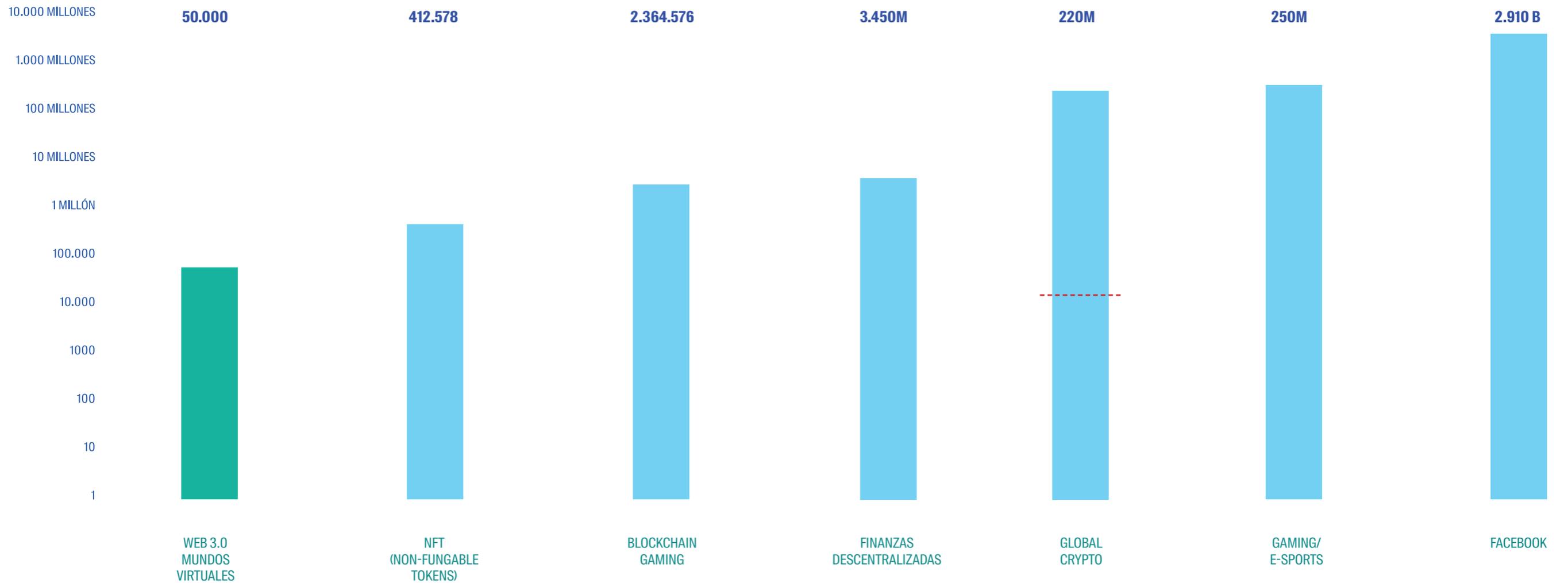
### *Los operarios de SEAT usan gafas Microsoft HoloLens para visualizar la integración de componentes electrónicos*

Binarybox.studios, por su parte, ha conseguido trasladar la experiencia de la música en directo a cualquier lugar mediante Singulive, una plataforma que combina música y realidad virtual para poder disfrutar de un concierto en vivo estando en el salón de casa. Por último, Innovae aplica la realidad mixta en todos sus proyectos, además de ayudar a otras empresas a mejorar su producción empleando estas tecnologías. En el caso de SEAT, gracias al uso de las gafas Microsoft HoloLens, los operarios pueden visualizar, paso a paso, los procedimientos guiados sobre los activos en el proceso de integración de componentes electrónicos en los modelos SEAT León y CUPRA Formentor.

Fuentes: Non Fungible, CryptoSlam, Dune Analytics, Crypto.com, Goldman Sachs, Facebook

**FIGURA 6.**

**USUARIOS GLOBALES POR CATEGORÍAS.** LA CANTIDAD HISTÓRICA DE USUARIOS DE METAVERSO HA AUMENTADO DESDE PRINCIPIOS DE 2020. ACTUALMENTE, LOS MUNDOS VIRTUALES DE METAVERSO WEB 3.0 CUENTAN CON CASI 50.000 USUARIOS HISTÓRICOS. Y LA PROBABILIDAD DE CRECIMIENTO PARECE INFINITA PARA LOS MUNDOS VIRTUALES DE METAVERSO, AUNQUE TODAVÍA APENAS DESPEGA EN COMPARACIÓN CON OTROS SEGMENTOS DE WEB 3.0 Y WEB 2.0.





## Aplicación e impacto

### Cesión de datos consciente frente a la incertidumbre ante la virtualización de la experiencia y sus efectos en la privacidad

Virtualizar la experiencia abre una nueva vía de preocupación en torno al intercambio de datos y la privacidad, a cambio del acceso a nuevos medios digitales de socialización. Los consumidores necesitan transparencia sobre qué datos entregarán libremente para estas nuevas tecnologías, para poder tomar decisiones informadas. Una investigación de la Universidad de Harvard muestra que después de solo 5 minutos de juego en un dispositivo de realidad virtual se puede identificar perfectamente a una persona a través de la sutileza de sus movimientos corporales convertidos en método de diagnóstico de la identidad personal, las condiciones médicas y los estados mentales. Otros estudios de Stanford han encontrado que se registran más de dos millones de puntos de datos por cada sesión de 20 minutos usando el dispositivo. En 2018, la firma de investigación The Extended Mind realizó un estudio de las experiencias de las mujeres en la realidad virtual social. Los resultados fueron bastante desalentadores: el 49% de las mujeres informaron haber experimentado al menos un incidente de acoso y muchas de ellas nunca volvieron a la experiencia virtual. El 30 % de los hombres encuestados informó de contenido racista u homófobo, y el 20 % experimentó comentarios violentos o amenazas en el sitio web<sup>24</sup>.

De ahí que haya surgido el concepto de “psicografía biométrica” como un nuevo término para este tipo

*El concepto de “psicografía biométrica” alude a la información centrada en el cuerpo, no vinculada a la identidad*

novedoso de información centrada en el cuerpo, no vinculada a la identidad, sino a los intereses y opiniones de un consumidor a través de sus atributos cognitivos, como emociones, valores y actitudes. La Comisión Europea invita a preguntarnos qué tipo de Metaverso queremos crear. ¿Cuánto de nuestras vidas queremos que esté en los mundos virtuales en 3D y los dispositivos de realidad virtual? Para las respuestas a estas preguntas, no deberíamos esperar una década, el tiempo en el que se estima que tardará en popularizarse esta tecnología<sup>25</sup>.



## *Conclusiones*

Las principales tecnológicas mundiales acaban de plantar las semillas del metaverso, un concepto ideado como ciencia ficción a principios de los noventa. La integración total con este nuevo mundo digital llevará años, probablemente décadas, pero los primeros productos comenzarán a florecer pronto gracias a los avances en realidad virtual, aumentada y mixta. Más allá del ocio y los videojuegos, las tecnologías del metaverso revolucionarán nuestra forma de interactuar entre nosotros y con los ordenadores, del mismo modo que internet revolucionó la era digital. Las posibilidades son infinitas.



1. Santander (2021). **“Metaverso: todo lo que necesitas saber para aprovechar el ‘nuevo mundo’**”. Consultado el 21 de enero de 2022.

2. Epic Games (2021). **“Announcing a \$1 Billion Funding Round to Support Epic’s Long-Term Vision for the Metaverse”**. Consultado el 21 de enero de 2022.

3. S. Rodríguez. **“Facebook changes company name to Meta”**. CNBC, 28 de octubre de 2021. Consultado el 21 de febrero de 2022.

4. D. Lambden. **“Metaverse Meetings – the Future of Work or a Facebook Gimmick?”** Tech.co, 18 de octubre de 2021. Consultado el 21 de febrero de 2022.

5. R. Yao. **“How the Rise of Metaverses Will Impact the Entertainment Industry”**. Medium, 4 de diciembre de 2020. Consultado el 21 de febrero de 2022.

6. B. Woods. **“The first metaverse experiments? Look to what’s already happening in medicine”**. CNBC, 4 de diciembre de 2021. Consultado el 21 de febrero de 2022.

7. Youtube (2021). **“Education in the metaverse”**. Consultado el 21 de febrero de 2022.

8. R. Ribeiro. **“Metaverse’ and the educational potential: Is it so far away?”** Cambridge University Press, 15 de noviembre de 2021. Consultado el 21 de febrero de 2022.

9. Financial Times (n.d.). **“NFTs: The metaverse economy”**. Consultado el 21 de febrero de 2022.

10. **“Bruselas quiere que los Veintisiete lideren el desarrollo de la Web 3.0”**. El Mundo, 30 de septiembre de 2008, consultado el 28 de febrero de 2022.

11. T. O’Reilly. **“Why it’s too early to get excited about Web3”**. 13 de diciembre de 2021, consultado el 28 de febrero de 2022.

12. P. Palandrani. **“The Metaverse Takes Shape as Several Themes Converge”**. Global X ETFs Research, 13 de septiembre de 2021, consultado el 28 de febrero de 2022.

13. N. Clegg y J. Olivan. **“Investing in European Talent to Help Build the Metaverse”**. Meta, 17 de octubre de 2021, consultado el 28 de febrero de 2022.

14. R. Ratan y D. Meshi. **“The metaverse is money and crypto is king”**. The Conversation, 14 de enero de 2022, consultado el 28 de febrero de 2022.

15. R. Bellan, K. Korosec y D. Coldewey. **“The best (and weirdest) future car tech at CES 2022”**. Techcrunch, 7 de enero de 2022, consultado el 28 de febrero de 2022.

16. D. Grider, **“THE METAVERSE Web 3.0 Virtual Cloud Economies”**. Grayscale, noviembre de 2021, consultado el 28 de febrero de 2022.

17. PWC (n.d.). **“Demystifying the metaverse”**, consultado el 28 de febrero de 2022.

18. R. Frank, **“Metaverse real estate sales top \$500 million, and are projected to double this year”**. CNBC, 1 de febrero de 2022, consultado el 28 de febrero de 2022.

19. N. Naidu, **“Metaverse may be \$800 billion market, next tech Platform”**. Bloomberg Intelligence, 1 de diciembre de 2021, consultado el 28 de febrero de 2022.

20. L.I. de Vicente del Olmo, P. Rodríguez Palafox y C. Muñoz Ferrandis. **“El auge de los datos sintéticos”**. Atlas Tecnológico, febrero 2022, consultado el 28 de febrero de 2022.

21. O. Bowling. **“The Metaverse: who really wins?”**. Oxford Business Review, 9 de diciembre de 2021, consultado el 22 de febrero de 2022.

22. M. Roman Miller et al. **“Personal identifiability of user tracking data during observation of 360 degree VR video”**. Nature, 15 de octubre de 2020, DOI: 10.1038/s41598-020-74486-y.

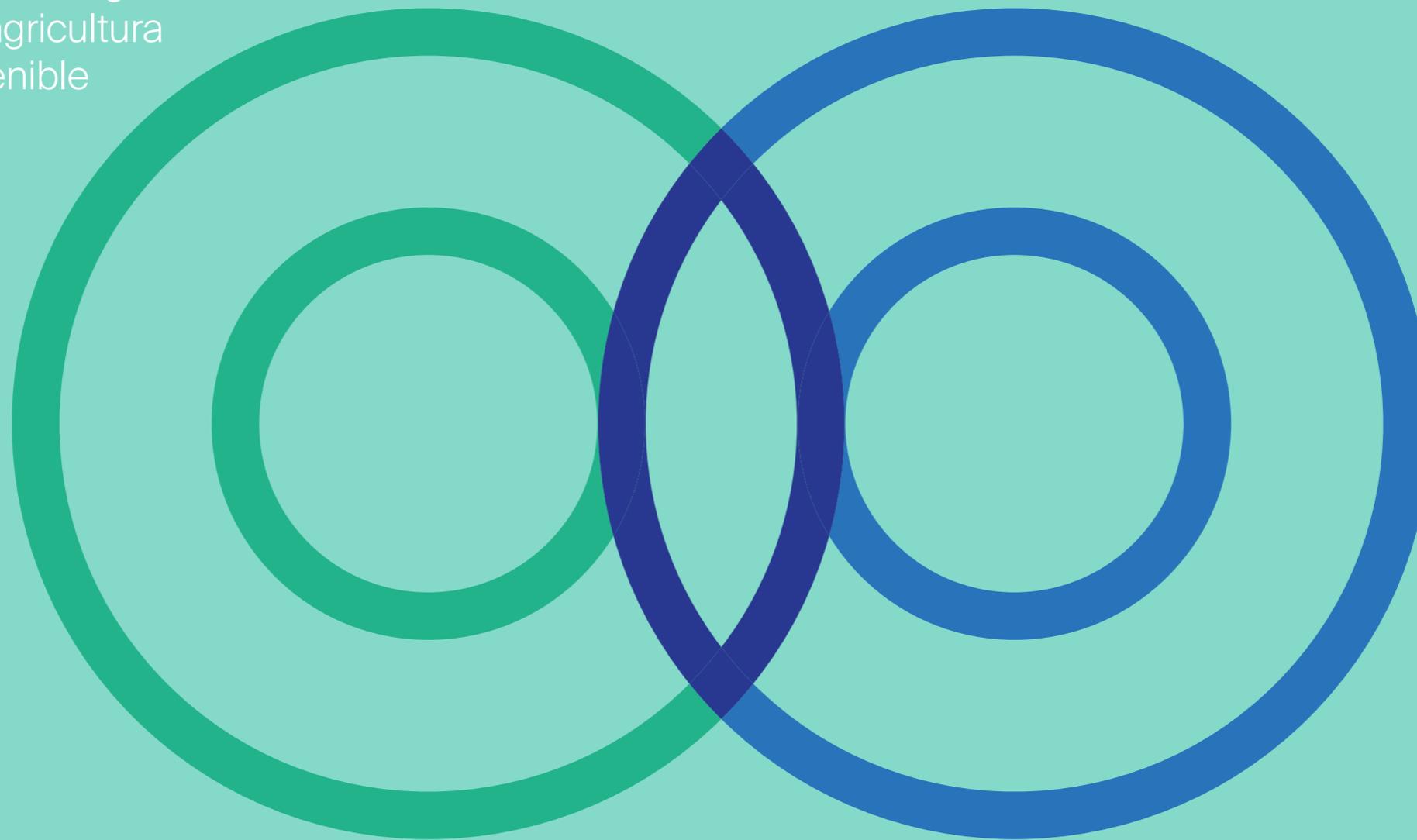
23. W. Southall. **“The Metaverse is Coming - But At What Cost?”**. Leeds Finsihgts, 8 de diciembre de 2021, consultado el 28 de febrero de 2022.

24. B. Heller. **“Reimagining Reality: Human Rights and Immersive Technology”**, Harvard Kennedy School, Harvard University, 12 de junio de 2020, consultado el 28 de febrero de 2022.

25. CORDIS (2021). **“¿Qué es el metaverso y por qué Facebook planea contratar a 10 000 personas en la Unión Europea para crearlo?”**. Consultado el 28 de febrero de 2022.

# 07. Fertilizantes inteligentes

Liberación gradual de ingredientes activos para una agricultura productiva y sostenible



/ Máximo aprovechamiento de recursos  
/ Minimización contaminación alimentos y ecosistemas

/ Nanofertilizantes sensibles a cambios físicos o acciones exteriores  
/ Fertilizantes de liberación controlada  
/ Sistemas de autodefensa natural de las plantas

## © ————— *En clave*

Los fertilizantes ‘inteligentes’ engloban una serie de tecnologías para reducir el impacto medioambiental de nuestra agricultura. Mediante sistemas que controlan la liberación de sustancias, conseguimos aprovechar al máximo los recursos y, al mismo tiempo, minimizar la contaminación tanto de los alimentos como de los ecosistemas. Por supuesto, todas estas mejoras siempre mantienen la productividad de los cultivos, para garantizar el acceso a alimentos seguros para todos.

## © ————— *La tecnología*

### **Liberación gradual de ingredientes activos para una agricultura productiva y sostenible**

Durante siglos, la agricultura ha dependido de sustancias fertilizantes para aportar a los cultivos nutrientes esenciales como el nitrógeno y el fósforo. Estos fertilizantes naturales provenían tanto de residuos orgánicos, como el estiércol y el compost, como de minerales inorgánicos, como los nitratos y los fosfatos. El panorama cambió radicalmente a principios del siglo XX, cuando un crecimiento sin precedentes de la población mundial amenazaba el suministro de fertilizantes a escala global. En ese momento, la ciencia y la tecnología acudieron al rescate: el desarrollo del proceso Haber-Bosch para la fabricación de fertilizantes sintéticos, como el amoníaco, permitió una expansión de los cultivos y, junto con otros factores como el desarrollo de antibióticos y la potabilización del agua, permitió un desarrollo sin precedentes<sup>1</sup>.

Sin embargo, el uso de fertilizantes también ha tenido consecuencias negativas. En concreto, el aumento de las concentraciones de nitrógeno y fósforo en los ecosistemas crea problemas de eutrofización. Ante el exceso de nutrientes, proliferan otros organismos que consumen grandes cantidades de oxígeno y otros recursos y, además, contaminan los ecosistemas con materia orgánica, como algas y fango. Este fenómeno disminuye la calidad de los depósitos naturales de agua, afecta directamente a la producción piscícola, dificulta la navegación y, en tierra firme, perjudica la vida de pájaros, mamíferos y otras especies, que pueden morir envenenados como consecuencia del crecimiento desenfrenado de bacterias patógenas<sup>2</sup>.

Además de los problemas derivados de la eutrofización, el crecimiento masivo de los cultivos ha provocado otros desastres medioambientales como la deforestación. Actualmente, las Naciones Unidas advierten que la agricultura y la ganadería son las principales causas de la deforestación y la degradación de los bosques. Las actividades humanas a menudo explotan estos recursos naturales más allá de su capacidad de regeneración. Y, actualmente, este fenómeno afecta de manera desproporcionada a los países en desarrollo<sup>3</sup>.

Por lo tanto, es fundamental identificar nuevas soluciones que faciliten una agricultura productiva, capaz de alimentar a toda la población, pero, al mismo tiempo, sostenible. Este reto está directamente relacionado con diez de los diecisiete Objetivos de Desarrollo Sostenible adoptados por todos los miembros de las Naciones Unidas en 2015<sup>4</sup>. Una de las herramientas que pueden permitir esta transición hacia una nueva economía más verde son los fertilizantes inteligentes. Estos combinan una serie de desarrollos tecnológicos para maximizar la eficiencia de los fertilizantes al mismo tiempo que se reducen las cantidades, y por tanto la eutrofización, y el impacto en la crisis climática, derivado de los efectos del dióxido de carbono, pero también de los óxidos de nitrógeno. En general, el efecto principal de los fertilizantes inteligentes es la liberación gradual y paulatina de sus ingredientes activos en función con las necesidades de las plantas. De este modo, las plantas aprovechan la mayor parte de las sustancias fertilizantes, lo que reduce la cantidad disponible para microorganismos contaminantes y la filtración de residuos tóxicos a los acuíferos<sup>5</sup>.

Para conseguir estos efectos – la liberación controlada y el aumento de la eficiencia – los fertilizantes inteligentes utilizan diferentes tecnologías<sup>6</sup>. Por un lado, están los fertilizantes que utilizan los avances en nanotecnología y ciencia de materiales. Los primeros utilizan nanopartículas de un modo similar a la nanomedicina, aprovechando estos transportadores de tamaño diminuto para llevar los nutrientes al destino de forma específica y controlada. Existen diferentes recubrimientos que, o bien liberan poco a poco el contenido, como las zeolitas, o bien se disuelven progresivamente para conseguir un efecto similar, como los biopolímeros. Estos últimos funcionan como las cápsulas que recubren algunos medicamentos. Los avances actuales permiten, además, conseguir que la liberación de los

fertilizantes, además de gradual, pueda ser controlada mediante estímulos externos. Por ejemplo, pueden diseñarse nanofertilizantes que respondan a ciertos cambios físicos en el suelo, como la temperatura, la acidez, la humedad o la presencia de ciertos metabolitos procedentes de las plantas. En estos casos, los principios activos se liberan solamente cuando los cultivos los necesitan. Del mismo modo, pueden diseñarse fertilizantes inteligentes que respondan a acciones externas, como el riego. Gracias a recubrimientos poliméricos, los investigadores han desarrollado nanopartículas que, ante la presencia de agua, permeabilizan fertilizantes al cultivo. La velocidad de este efecto puede controlarse mediante la selección de los materiales utilizados, el diseño de nanoporos de distintos tamaños y la regulación del grosor del recubrimiento polimérico, entre otras opciones.

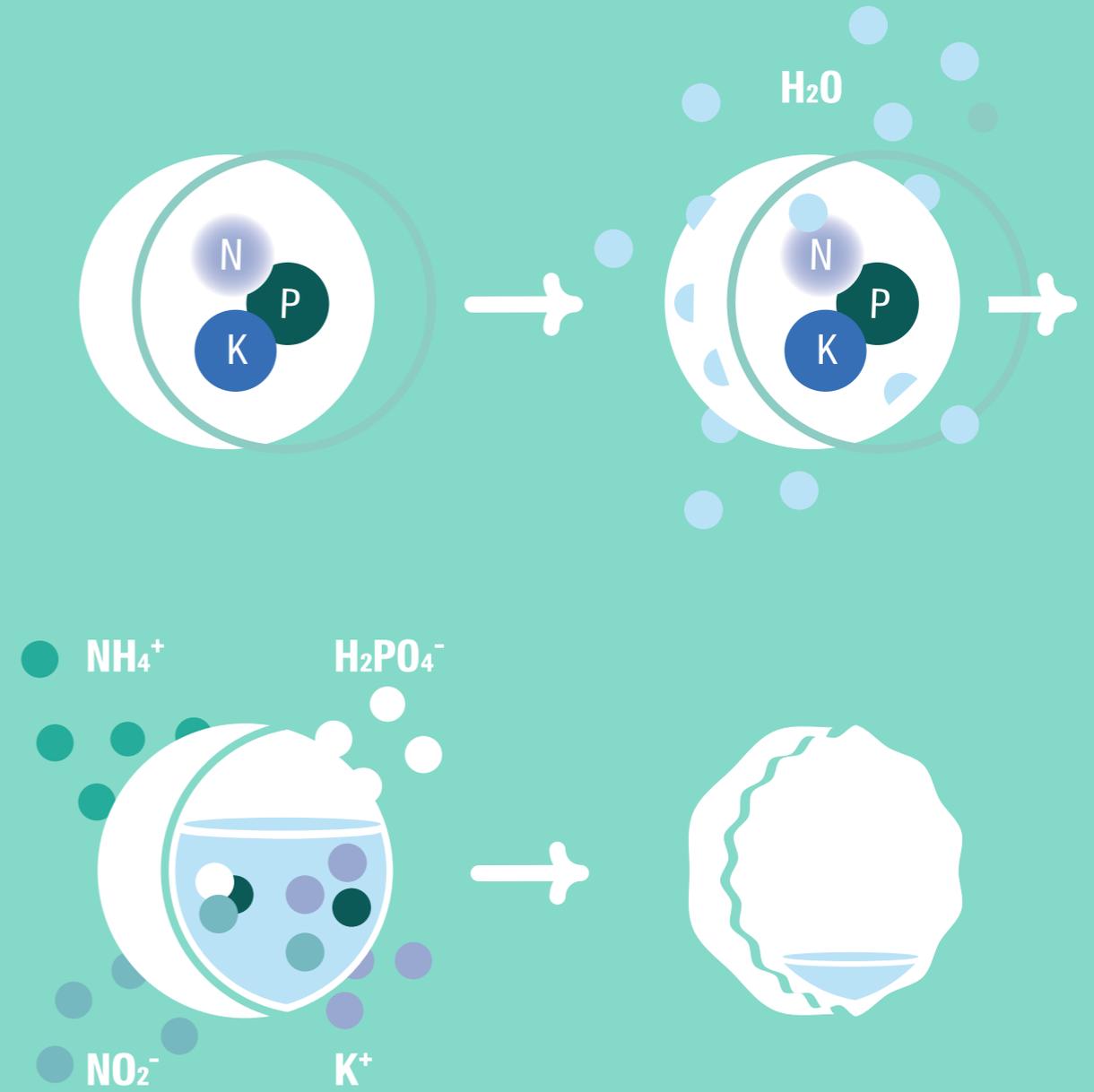
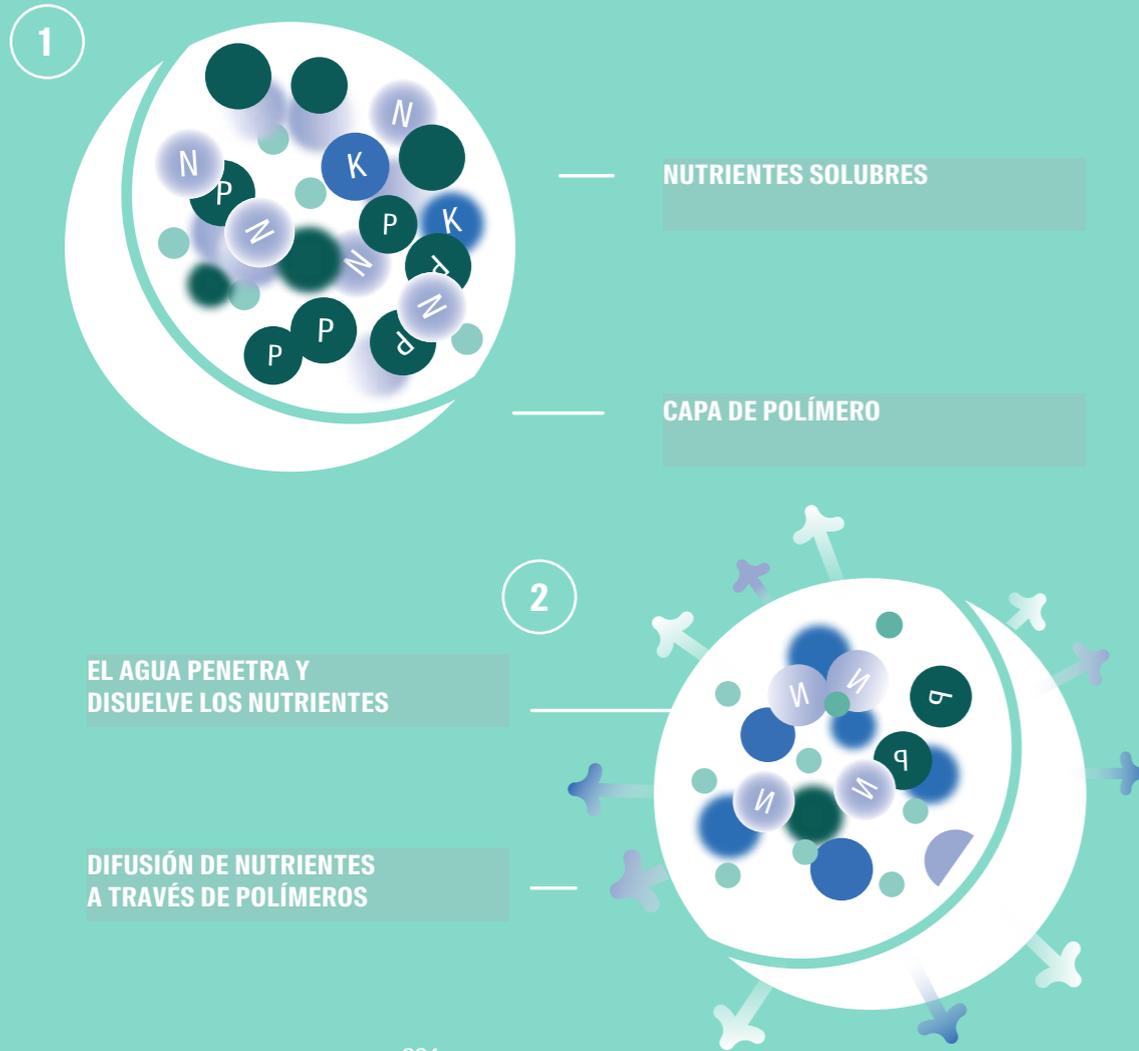
### *Pueden diseñarse nanofertilizantes que respondan a ciertos cambios físicos en el suelo o a acciones externas, como el riego*

En este mismo bloque de los nanofertilizantes encontramos soluciones que, aunque no están directamente involucradas en la alimentación de las plantas, contribuyen a disminuir de la contaminación. Estos productos suelen contener sustancias que ralentizan la degradación de los fertilizantes por parte de bacterias y otros microorganismos del suelo. De manera natural, estos microorganismos utilizan fertilizantes, como la urea y el amoníaco, como parte de sus rutas metabólicas, lo que disminuye directamente la cantidad de sustratos disponibles para los cultivos. Además, estas reacciones bioquímicas pueden acelerar la producción de sustancias como los óxidos de nitrógeno, contaminantes atmosféricos relacionados tanto con la lluvia ácida como con el calentamiento global. Estas sustancias que evitan la contaminación y los efectos de la eutrofización, como los inhibidores de ureasas y los inhibidores de la nitrificación, también pueden encapsularse mediante diferentes soluciones nanotecnológicas para maximizar su eficacia y prolongar su vida útil. En algunos estudios, se han cuantificado reducciones en la emisión de sustancias contaminantes de hasta un 60%, mientras el rendimiento del cultivo se mantiene inalterado<sup>7</sup>.

Fuente: N/A

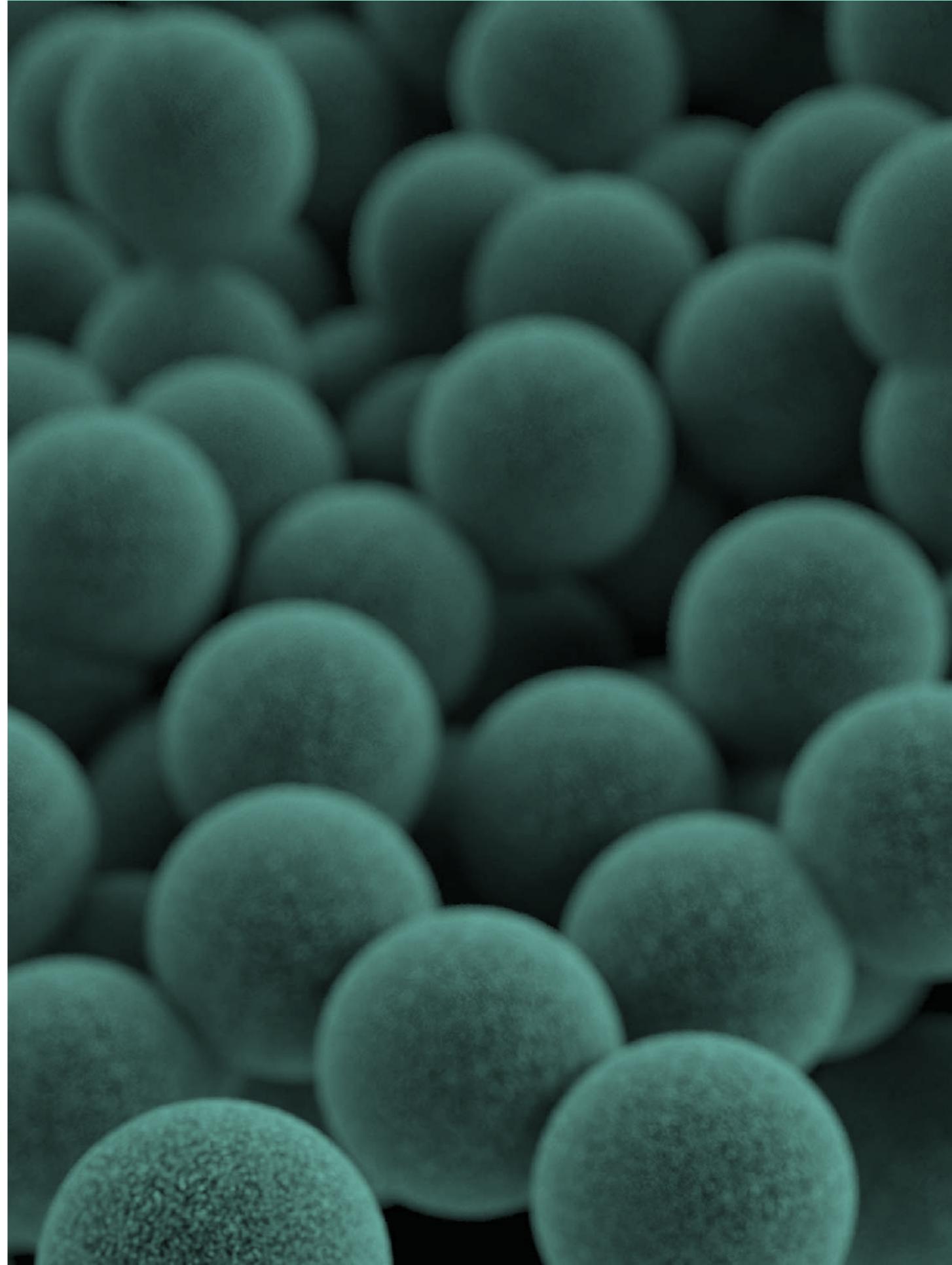
FIGURA 1.

**LOS FERTILIZANTES DE LIBERACIÓN CONTROLADA.** LOS FERTILIZANTES INTELIGENTES LIBERAN LOS INGREDIENTES ACTIVOS DE FORMA GRADUAL, PARA MAXIMIZAR EL APROVECHAMIENTO DE NUTRIENTES POR PARTE DE LAS PLANTAS. UNA FORMA DE CONSEGUIR ESTA LIBERACIÓN PAULATINA DE INGREDIENTES ACTIVOS SON LOS RECUBRIMIENTOS POLIMÉRICOS QUE, POCO A POCO, SE DISUELVEN EN AGUA. ASÍ, CONFORME SE VA DESHACIENDO LA CAPA PROTECTORA, LOS NUTRIENTES PUEDEN ESCAPAR AL MEDIO Y MINIMIZAR LA CONTAMINACIÓN DE LOS ECOSISTEMAS.



### *Biotecnología y microbiología.*

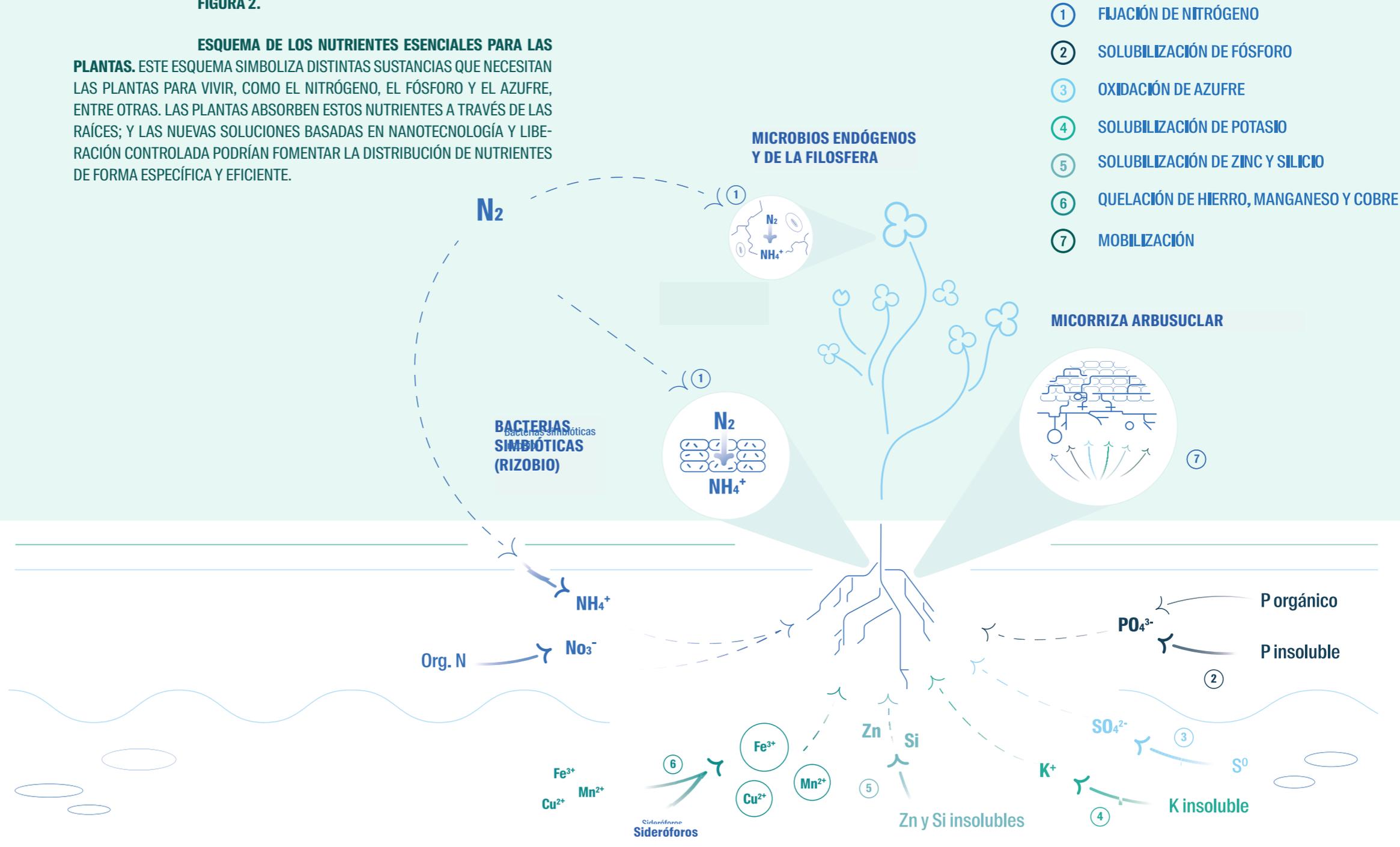
Además de la nanotecnología, los científicos también han aprovechado los avances en biotecnología y microbiología para mejorar el rendimiento, la eficacia y la sostenibilidad de los cultivos. En los últimos diez años, se han dedicado esfuerzos enormes a identificar y caracterizar el papel de diferentes bacterias, hongos y otros microorganismos presentes en los ecosistemas vegetales. Estas poblaciones, a menudo, se conocen como la “microbiota vegetal”, por analogía a las familias de bacterias que habitan en nuestro aparato digestivo. Una vez identificados estos mecanismos y estos organismos podrían tomarse medidas para multiplicar su productividad; por ejemplo, diseñar bacterias modificadas genéticamente para llevar a cabo las mismas tareas de forma más eficiente, así como aislar las proteínas y enzimas claves en el metabolismo de ciertos compuestos y utilizarlas como fertilizantes biológicos. Estas tecnologías podrían proveer de soluciones a diferentes retos, desde la fijación del nitrógeno atmosférico para utilizarlo como fertilizante natural (sin necesidad del proceso Haber-Bosch para la producción de fertilizantes sintéticos) hasta la fijación de micronutrientes esenciales como el hierro, el manganeso, el fósforo y el zinc. Muchos de estos están presentes de forma natural en el suelo, pero a menudo en forma de sustancias inaccesibles para las plantas. Aumentar la presencia de enzimas y organismos biológicos que aceleran la transformación de recursos minerales en nutrientes útiles podría aumentar la productividad. Algunos estudios preliminares, por ejemplo, señalan cómo complementar los cultivos con microorganismos fijadores del nitrógeno atmosférico consigue aumentos del rendimiento de un 25% en cultivos de arroz, hasta un 50% en trigo y un 70% en caña de azúcar. Estos nuevos fertilizantes inteligentes, bautizados como “probióticos” para plantas, todavía están en fases preliminares de estudio, que incluyen un análisis exhaustivo de su seguridad y del impacto medioambiental. Sin embargo, parecen una solución prometedora para mejorar la productividad de nuestros cultivos de forma sostenible, y las predicciones estiman que supondrán un mercado de casi 3.500 millones de euros en 2025<sup>8</sup>.



Fuente: medium.com.

FIGURA 2.

**ESQUEMA DE LOS NUTRIENTES ESENCIALES PARA LAS PLANTAS.** ESTE ESQUEMA SIMBOLIZA DISTINTAS SUSTANCIAS QUE NECESITAN LAS PLANTAS PARA VIVIR, COMO EL NITRÓGENO, EL FÓSFORO Y EL AZUFRE, ENTRE OTRAS. LAS PLANTAS ABSORBEN ESTOS NUTRIENTES A TRAVÉS DE LAS RAÍCES; Y LAS NUEVAS SOLUCIONES BASADAS EN NANOTECNOLOGÍA Y LIBERACIÓN CONTROLADA PODRÍAN FOMENTAR LA DISTRIBUCIÓN DE NUTRIENTES DE FORMA ESPECÍFICA Y EFICIENTE.





## Retos y Oportunidades

Cómo reducir el uso de fertilizantes y las emisiones manteniendo la productividad agraria

El entorno regulatorio a nivel mundial está dominado por un aumento de las políticas relacionadas con el cambio climático que afectan al uso de fertilizantes. En la Unión Europea (UE), la estrategia Farm to Fork<sup>10</sup> plantea una reducción del 50% en las pérdidas de nutrientes de los fertilizantes en 2030, lo que implica en la reducción del uso de fertilizantes de al menos un 20% para ese año, y el Pacto Verde Europeo<sup>11</sup> persigue hacer de Europa el primer continente climáticamente neutro para 2050; Reino Unido y Nueva Zelanda han implementado tasas máximas de aplicación de nitrógeno; China ha implantado la política de crecimiento cero en el uso de fertilizantes; y la nueva estrategia climática de Canadá, lanzada en 2020, incluye el objetivo de reducir las emisiones relacionadas con el uso de fertilizantes en un 30%. A nivel internacional, The Fertilizer Institute, el International Plant Nutrition Institute, la International Fertilizer Industry Association y el Canadian Fertilizer Institute han lanzado la iniciativa 4R Nutrient Stewardship que promueve cuatro líneas de acción correcta (Right): el origen del fertilizante, la cantidad, el lugar y el momento.

A pesar de ello, el incremento de la población mundial y la mejora de la calidad de vida en determinadas economías en vías de desarrollo, seguirá tirando al alza de la demanda de alimentos, por lo que se espera que el crecimiento anual de la demanda mundial de fertilizantes se mantenga en torno al 1% entre 2021/22 y 2025/26, cuando alcanzará los 208 millones de toneladas<sup>12</sup>. El objetivo es invertir esta dinámica. Para el año agrícola 2029/30 se estima ya que la tendencia en el uso de nutrientes en el campo europeo debe ser ya descendente en todos los cultivos: un -4% en la remolacha azucarera, un -4% en la patata y -5% en cereales, con los cultivos forrajeros registrando la caída más pronunciada, de hasta el -8%. Europa consumirá en una década 10,6 millones de toneladas de abonos nitrogenados, 2,7 millones de toneladas de abonos fosfatados y 3,1 millones de toneladas de abonos potásicos. En total, 16,4 millones de toneladas de nutrientes, que fertilizarán 132,4 millones de hectáreas de tierras de cultivo. El peso de España en el mercado se cifra en 5,1 millones de toneladas utilizadas en 2020, un 3% más que el año anterior<sup>13</sup>.

La causa es el endurecimiento de las normas ambientales, que reducirá el uso de nitrógeno en un -6% y en menor medida el de fosfato (-3,9%) y potasa (-1,4%)<sup>14</sup>. Además

de las mencionadas iniciativas de Farm to Fork y Pacto Verde Europeo, el Reglamento de Productos Fertilizantes (FPR)<sup>15</sup>, con entrada en vigor en julio de 2022, introduce cambios significativos en la clasificación de los fertilizantes, poniendo el énfasis en lo que contienen, en lugar de a qué tipo pertenecen, y ampliando el ámbito de aplicación de la norma anterior, de 2003, para incluir no sólo los fertilizantes minerales, sino también los orgánicos, los órgano-minerales, los mejoradores del suelo, los materiales encalantes, los bioestimulantes vegetales, los inhibidores y las mezclas de productos fertilizantes.

*En 2029/2030, España consumirá 5,1 millones de toneladas de nutrientes del total de 16,4 millones para toda Europa, es decir, un 31%*

Fuente: Ministerio de Agricultura, Pesca y Alimentación (2004)

FIGURA 3.

**ZONAS VULNERABLES A LA CONTAMINACIÓN POR NITRATOS.** EL EXCESO DE NITRATOS PUEDE SER PERJUDICIAL PARA LAS EXPLOTACIONES AGRÍCOLAS Y GANADERAS. LA LIBERACIÓN CONTROLADA DE ESTAS SUSTANCIAS PUEDE REDUCIR, ENTRE OTROS, ESTE TIPO DE CONTAMINACIÓN, CONTRIBUYENDO A UNA AGRICULTURA MÁS SOSTENIBLE Y RESPETUOSA CON EL MEDIO AMBIENTE.





## *El potencial de España*

### **Áreas de innovación: nanofertilizantes biomiméticos, fijación biológica de nitrógeno y sistemas de autodefensas naturales para las plantas**

Las regiones mediterráneas, como la española, en las que el cambio climático ha provocado una mayor irregularidad de las precipitaciones, incrementando la demanda de agua de riego a través de la que se aplican parcialmente los nutrientes nitrogenados tradicionales, soluciones inteligentes como los Fertilizantes de Eficiencia Mejorada (EEF), de liberación lenta y controlada, y los inhibidores de la nitrificación, se presentan cada vez más como la solución para reducir las pérdidas de nitrógeno, lo que contribuye a una mayor eficiencia en el uso de los recursos<sup>16</sup>. La FAO los incluye entre sus 10 elementos para conseguir una agricultura ecológica<sup>17</sup>, porque menos del 50% de los fertilizantes nitrogenados que se aplican globalmente a las tierras de cultivo se convierten en productos cosechados y el resto se pierde en el medio ambiente, lo que causa importantes problemas ambientales.

Las propuestas innovadoras presentes en España orientan los fertilizantes inteligentes hacia el terreno de la biotecnología y la nanotecnología con enfoques de singular interés. El proyecto NANOINTEC, en el que participan investigadores de las Universidades de Granada y de Almería, ha dado lugar a nanopartículas biomiméticas compuestas de macronutrientes esenciales para las plantas con baja solubilidad en medios acuosos por lo que permiten la liberación lenta y gradual de

los macronutrientes. También comercializa un nanofertilizante biomimético, diseñado para potenciar el desarrollo vegetal, que permite la liberación simultánea y gradual de los bioestimulantes y macronutrientes en el interior de los tejidos de la planta en momentos concretos del ciclo del cultivo. En España hay empresas trabajando en el ámbito de los bioestimulantes agrupadas en la Asociación Española de Fabricantes de Agronutrientes (AEFA), algunas de ellas socios fundadores de EBIC (European Biostimulants Industry Council)<sup>18</sup>.

Fertinagro Biotech ha registrado la patente europea de un fertilizante de estimulación microbiana que potencia la fijación biológica de nitrógeno ambiental en el suelo y reduce la cantidad de fertilizantes nitrogenados convencionales necesarios para la nutrición de las plantas. Son ya más de 40 las patentes conseguidas por la empresa tanto a nivel nacional como internacional.

EDYPRO utiliza la biotecnología para activar los sistemas de autodefensa naturales con sus fertilizantes, que sustituyen a las sustancias hormonales que durante años se han estado utilizando en la agricultura para extractos vegetales, sin generar ningún tipo de residuo en la cadena alimentaria. Y Artal Smart Agriculture, empresa familiar fundada en Valencia en 1895 se posiciona también como referente mundial en activadores inmunológicos basados en el priming de defensa, (una tecnología que estimula el estado de alerta de las plantas) totalmente compatibles con la fauna útil y los diversos microorganismos utilizados en presencia de ciertas plagas y enfermedades.

### *Una empresa familiar fundada en Valencia en 1895 se posiciona como referente mundial en activadores inmunológicos de defensa*

Por su parte, DIAGRINT es un grupo operativo supraautonómico que busca mejorar el rendimiento del cultivo de cereales (maíz, trigo), patata y de la pradera en distintas zonas españolas utilizando fertilizantes más eficientes. Participan SOAGA-Sociedad Agrícola Gallega, Blue Agro Chemicals,

Universidad de Santiago de Compostela y la Fundación Empresa-Universidad Gallega. La carrera por el diseño de nuevos fertilizantes mediante biotecnología ha llevado a la Fundación Cartif a impulsar el proyecto FERTINOVO centrado en la valorización de distintos subproductos obtenidos en el sector de la puesta (gallinaza, cáscara de huevo, huevos claros) mediante procesos de compostaje y extracción, para el desarrollo y puesta en el mercado de nuevos fertilizantes de alto valor añadido.

*Señales químicas.*

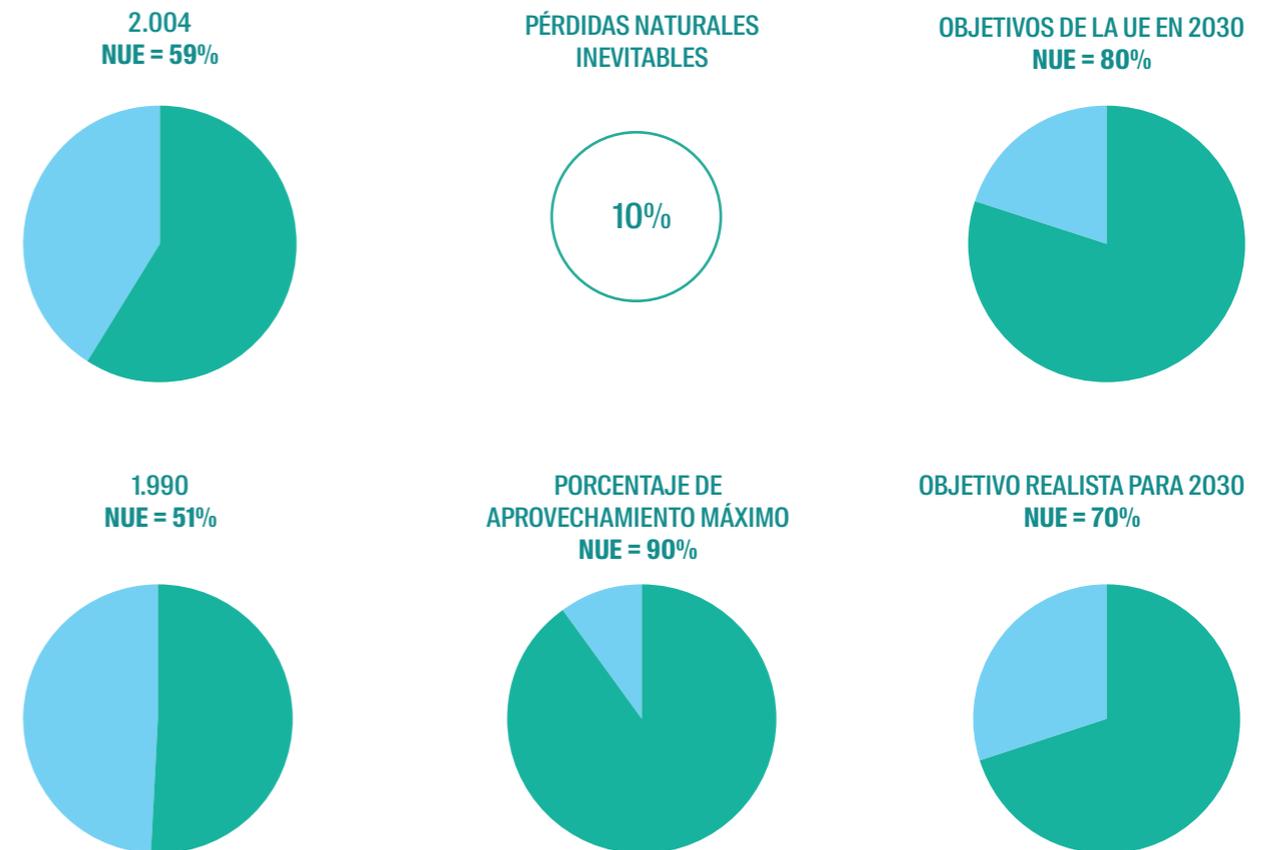
Por último, Timac Agro, compañía con más de 50 años de experiencia, ha desarrollado y lanzado al mercado un fertilizante inteligente que actúa en función de la demanda de nutrientes de la planta. Se detectan porque emite señales químicas con el objetivo de aumentar la concentración de nutrientes asimilables y transportarlos a la raíz. Esas señales, con patente europea, reaccionan con los receptores del complejo presente en el fertilizante y activa la difusión a demanda de nutrientes a la rizosfera. La tecnología de Timac Agro incluye una malla de fijación molecular insoluble al agua en su mayor parte, pero soluble a las sustancias orgánicas con capacidad de atrapar metales liberados a la rizosfera por la planta como expresión a una demanda nutricional. En esta malla se insertan los nutrientes en el proceso de fabricación. A medida que la malla es disuelta por las moléculas orgánicas emitidas por la raíz, se van liberando los nutrientes del fertilizante.

Fuente: Fertilizers Europe (Referencia 14).

- NITRÓGENO ABSORBIDO POR LAS PLANTAS (NUE)
- PÉRDIDAS DE NITRÓGENO

**FIGURA 4.**

**EFICIENCIA DEL USO DE NITRÓGENO EN LA AGRICULTURA EUROPEA.** GRAN PARTE DEL NITRÓGENO QUE UTILIZAMOS EN NUESTROS FERTILIZANTES SE DESPERDICIA; SUELEN USARSE CANTIDADES EXCESIVAS Y LAS PLANTAS NO PUEDEN APROVECHARLO TODO. LOS FERTILIZANTES INTELIGENTES SON UNA HERRAMIENTA CLAVE PARA CONSEGUIR ALCANZAR LOS OBJETIVOS DE SOSTENIBILIDAD DE LA UE (UN APROVECHAMIENTO DEL NITRÓGENO DEL 80%).



Fuente: OECD, 2008

Fuente: EU Nitrogen Expert Panel 2015



## Aplicación e impacto

**La vía tecnológica para reducir las emisiones nocivas de los fertilizantes permite a Europa evitar también la dependencia exterior**

No hay otro camino para reducir las emisiones nocivas de los fertilizantes en el campo, como plantea Europa, que la tecnología. La eficiencia real del uso de nitrógeno (NUE) para todas las tierras agrícolas en la UE-27 es de media del 61%. Este valor tiene que aumentar en un 25%, hasta alcanzar una NUE del 72%, para asegurar el rendimiento real necesario del cultivo con una escorrentía aceptable de nitrógeno hacia las aguas superficiales. En general, se considera razonable una reducción en las entradas reales de nitrógeno cercana al 15-30%, dependiendo del uso de técnicas de aplicación de fertilizantes más eficientes<sup>19</sup>, para proteger la calidad del aire y el agua. A Fertilizers Europe le gusta el método y es partidaria de utilizar el indicador NUE como una métrica para evaluar el progreso para alcanzar el objetivo de reducción de pérdidas de nutrientes<sup>20</sup>.

En un sentido similar, cobran relevancia los inhibidores de la ureasa (IU) para lograr una reducción en las emisiones de nitrógeno que la UE quiere que sea de hasta un 30% en algunos países en 2030 en relación con 2005<sup>21</sup>. Dado que los IU pueden reducir la emisión de amoníaco de la urea hasta en un 70%, Alemania ha impuesto su adición a la urea granular desde 2020. En el otro extremo, China consumió el 34 % de la urea global en 2019, lo que representó alrededor del 40% de

todos los fertilizantes nitrogenados sintéticos en China y, por lo tanto, tiene las mayores cantidades de emisiones de amoníaco en todo el mundo.

*Europa no sólo tiene razones medioambientales para promover los fertilizantes inteligentes, sino también económicas*

Europa no sólo tiene razones medioambientales para promover los fertilizantes inteligentes, sino también económicas. En primer lugar, porque depende en gran medida de las importaciones para la mayoría de los fertilizantes minerales: compra en el exterior más de 3 millones de toneladas de nutrientes basados en nitrógeno cada año, y si se incluye el amoníaco, el nivel de importaciones alcanza los 6 millones de toneladas, mientras que las importaciones de fertilizantes potásicos rondan los 2 millones de toneladas. En circunstancias de inestabilidad geopolítica, como las asociadas a la invasión de Ucrania por Rusia, uno de los principales suministradores de materias primas para fertilizantes, esa dependencia puede convertirse en una vía de debilidad<sup>22</sup>.

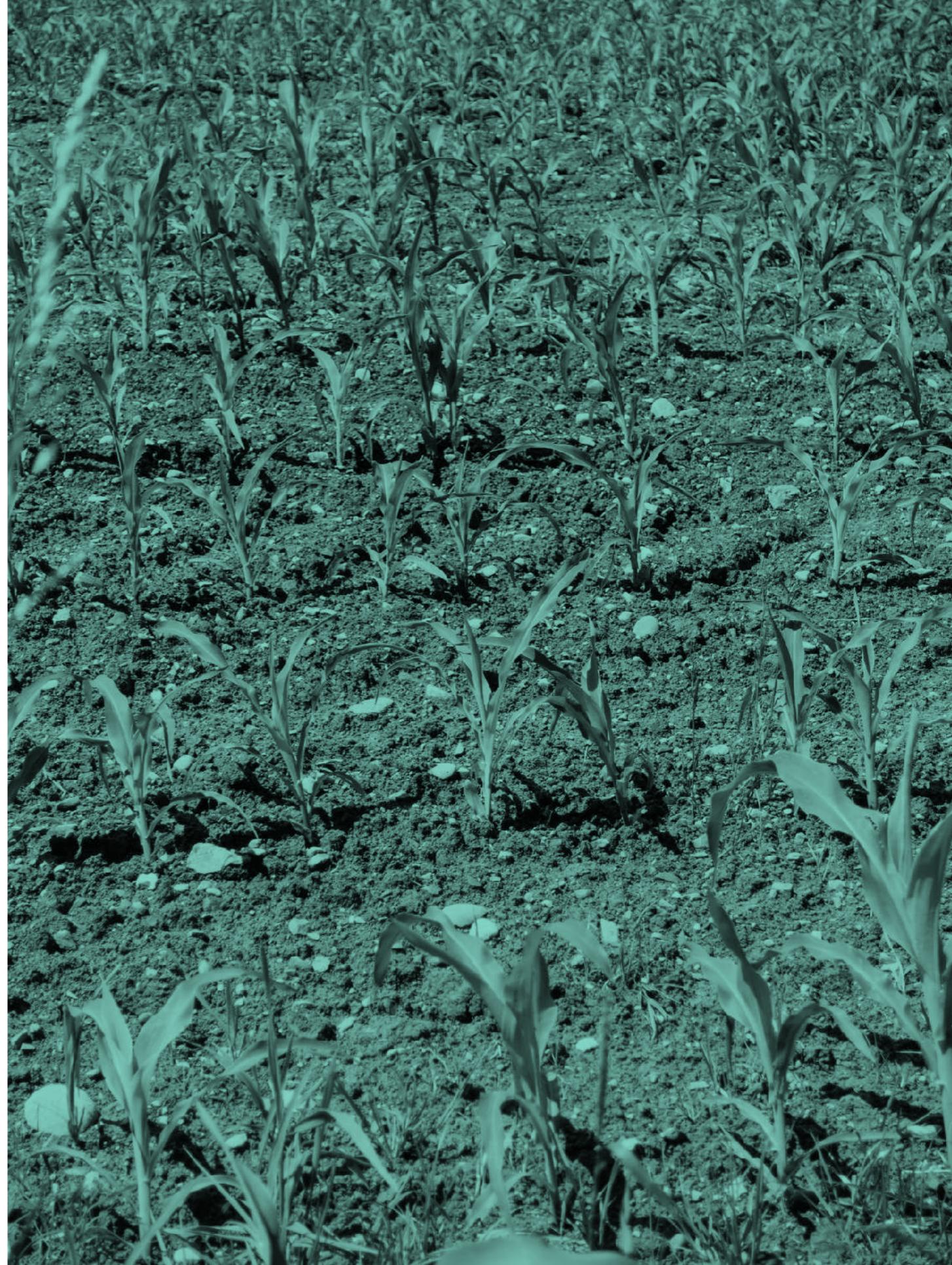
### *Rendimiento.*

En segundo lugar, porque necesita incrementar el rendimiento de sus hectáreas en explotación y se ha demostrado que los cereales fertilizados con SRF/CRF (slow-release/controlled-release fertilizers) tienen un mayor contenido de proteínas, mientras que los tubérculos exhiben un nivel más bajo de nitratos nocivos y un tamaño de tubérculo más grande<sup>23</sup>. El problema es que los precios de los fertilizantes recubiertos de azufre pueden ser incluso dos veces más altos, mientras que los fertilizantes recubiertos de polímeros pueden ser hasta tres veces más caros que los convencionales; por lo tanto, los fertilizantes SRF/CRF se utilizan principalmente en jardinería y para la fertilización de céspedes y plantas ornamentales. Actualmente, los principales mercados de producción y venta son los de China y Estados Unidos, donde se compra el 94% de la producción mundial. China es el mayor productor de CRF y SRF y, desde 2012, su capacidad de producción ha crecido una media del 9% anual. En Europa, la capacidad de

producción de CRF es de aproximadamente 50 toneladas/año de urea recubierta de azufre, 352 toneladas de urea recubierta de polímero y 136 toneladas de CRCU (Urea recubierta de liberación controlada). Los principales productores son Sulphur Hellas en Grecia, Haifa e ICL en Israel y Everris/ICL en los Países Bajos.

### *El mercado estadounidense de CRFs (controlled-release fertilizers) es casi cinco veces más grande que el europeo*

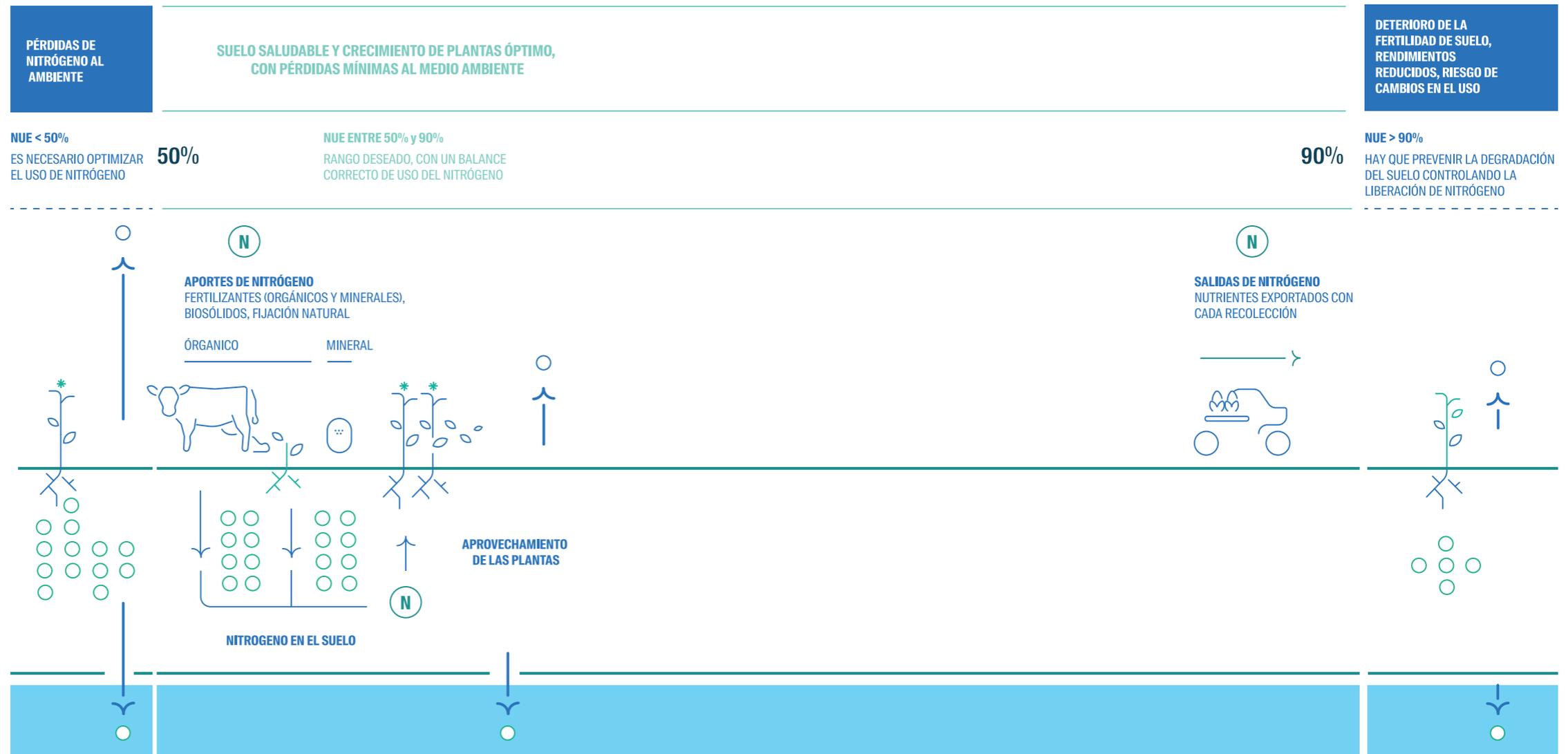
La innovación tecnológica en los fertilizantes inteligentes se presenta, por todo ello, como un vector de desarrollo clave para resolver el desafío. Pero su primer objetivo debe ser consolidarse como una alternativa real y atractiva para el campo, algo que todavía no sucede. Hace una década su uso representaba apenas entre el 0,20 y el 0,47% del total del consumo de fertilizantes en el mundo. Tenía que afrontar críticas como las dificultades para ajustar exactamente la liberación del nutriente a las necesidades de cada cultivo, el coste mayor por unidad de nitrógeno en comparación con los fertilizantes convencionales, la minimización de los granos dañados y el riesgo de depósito de residuos de materiales sintéticos en el suelo derivado de su uso. Sus defensores, por el contrario, inciden en que estos productos ya son rentables en cultivos de alto valor añadido y el coste no deja de disminuir gracias al crecimiento de la capacidad de producción de urea recubierta de azufre (SCU) en China y al desarrollo de nuevos fertilizantes de urea revestida por polímeros (PCU) para el mercado agrícola de EE.UU., rentables en cultivos extensivos como maíz, arroz, trigo y patatas. De hecho, el mercado estadounidense de CRFs (controlled-release fertilizers) es cerca de cinco veces más grande que el europeo y cerca de trece veces mayor que el japonés<sup>24</sup>.



Fuente: Ministerio de Agricultura, Pesca y Alimentación (2004)

FIGURA 5.

**LOS FLUJOS DE NITRÓGENO (Y OTROS FERTILIZANTES).** ESTE GRÁFICO EXPLICA, DE MANERA RESUMIDA, LA IMPORTANCIA DE TENER UN APROVECHAMIENTO ÓPTIMO DE LOS FERTILIZANTES PARA EVITAR LAS FILTRACIONES AL MEDIO AMBIENTE, MINIMIZAR EL IMPACTO AMBIENTAL Y, SOBRE TODO, CONSEGUIR MEJORES RENDIMIENTOS AGRÍCOLAS. EL INDICADOR DE EFICACIA DE USO DEL NITRÓGENO (NUE, POR SUS SIGLAS EN INGLÉS) OFRECE OPCIONES SENCILLAS PARA CALCULAR LA EFICIENCIA DE LOS FERTILIZANTES CON NITRÓGENO Y SU USO EN LA PRODUCCIÓN DE COMIDA, LO QUE MINIMIZA EL IMPACTO AMBIENTAL Y MAXIMIZA LA PRODUCCIÓN AGRÍCOLA.



EL NUE PUEDE CALCULARSE COMO LA RELACIÓN ENTRE EL NITRÓGENO APLICADO AL SUELO Y EL NITRÓGENO QUE SE ELIMINA AL RECOLECTAR LOS CULTIVOS, ESTE NÚMERO DEPENDE DEL TIPO DE GRANJA Y LA GESTIÓN.



## Conclusiones

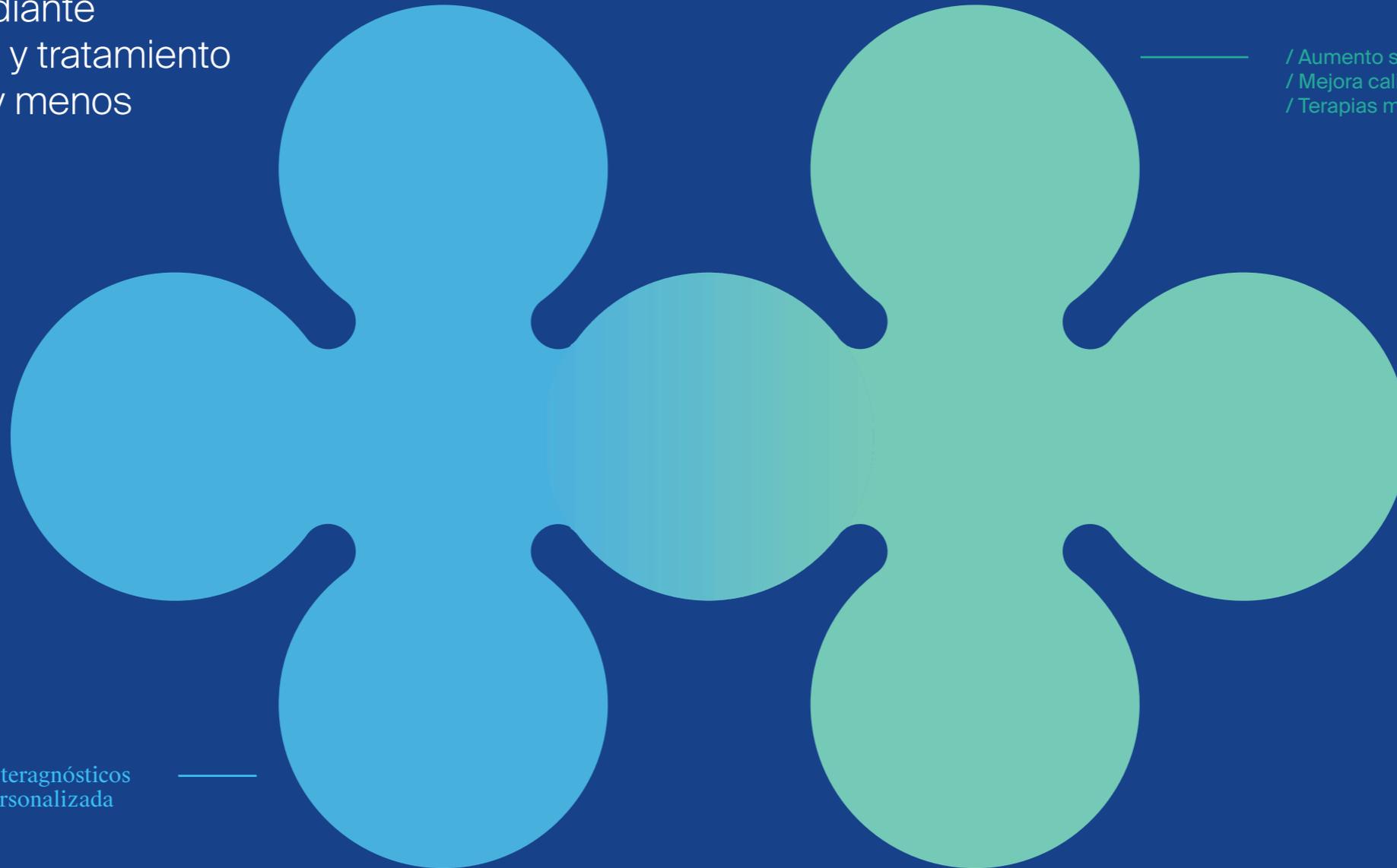
El uso de fertilizantes inteligentes puede contribuir a reducir la contaminación y, al mismo tiempo, garantizar una agricultura más duradera y sostenible. Cada vez contamos con soluciones más atractivas en campos como la biotecnología y la nanotecnología para mejorar el rendimiento y la eficacia de los cultivos, ajustándonos a los objetivos de la UE y las Naciones Unidas. En las regiones como España, donde el cambio climático provocará una mayor irregularidad de las precipitaciones, así como fenómenos meteorológicos extremos, debemos apostar por el desarrollo de nuevos productos inteligentes para asegurar el futuro de nuestra capacidad productiva.





# 08. Materiales teragnósticos

Identificación mediante  
receptores 'diana' y tratamiento  
de alta precisión y menos  
invasivo



/ Aumento supervivencia pacientes oncológicos  
/ Mejora calidad vida del paciente  
/ Terapias menos agresivas

/ Desarrollo nuevos materiales teragnósticos  
/ Mejora precisión medicina personalizada



## En clave

La ‘teragnosis’ es un concepto médico que combina el diagnóstico con el tratamiento de enfermedades. Recientemente, esta tecnología ha demostrado una gran eficacia aumentando la supervivencia de pacientes de cáncer. Además, el desarrollo de nuevos materiales para tratamientos teragnósticos presenta grandes posibilidades en el campo de la medicina personalizada. Mediante estas soluciones personalizadas, las terapias teragnósticas podrían ser mucho menos agresivas que las alternativas actuales, lo que acortaría su duración y mejoraría la calidad de vida del paciente.



## La tecnología

### Identificación mediante receptores ‘diana’ y trata- miento de alta precisión y menos invasivo

A pesar de haber copado los titulares durante los últimos años, el concepto de ‘teragnosis’ no es nuevo. Desde la década de 1950, se utilizan terapias teragnósticas para tratar el cáncer de tiroides, usando formulaciones con yodo radiactivo que permiten, al mismo tiempo, localizar y atacar las células cancerosas<sup>1</sup>. Sin embargo, las tecnologías actuales son mucho más específicas y avanzadas, gracias al desarrollo en diferentes campos como las técnicas de imagen, la medicina nuclear y la nanotecnología.

El funcionamiento de las terapias teragnósticas se parece al de las diferentes técnicas de imagen utilizadas en la detección de tumores. En primer lugar, se buscan receptores ‘diana’ que puedan servir para identificar el tumor. Los científicos suelen utilizar proteínas que, de manera natural, están sobre-expresadas en las células tumorales, para poder diferenciarlas correctamente de las células sanas. Después, se diseñan moléculas que encajan en estos receptores de forma específica, y se unen con marcadores radiactivos. Como todas las sustancias radiactivas, estos marcadores se desintegran emitiendo radiación que podemos detectar desde el exterior, mediante aparatos como los tomógrafos y los gammágrafos. Las dosis de radioisótopos administradas no son peligrosas, están calculadas para generar únicamente la radiación necesaria para la prueba diagnóstica<sup>2</sup>.

En el caso de la teragnosis, primero se utilizan los receptores para identificar y localizar el tumor. Una vez

detectado el peligro, se aprovechan las mismas moléculas para dirigir la terapia de forma selectiva y específica. En este caso, los isótopos radiactivos no son marcadores, sino sustancias con energía suficiente para atacar el tumor y destruir las células cancerosas. Al utilizar exactamente las mismas dianas y moléculas transportadoras, los médicos tienen una gran confianza en la especificidad del tratamiento. Los radioisótopos llegarán únicamente a las células cancerosas previamente identificadas por imagen, lo que garantiza un tratamiento de alta precisión, mucho menos invasivo que alternativas como la quimioterapia<sup>3</sup>.

### *Los métodos teragnósticos resultan especialmente útiles en el tratamiento del cáncer de próstata, el más frecuente en varones*

Recientemente, estos métodos teragnósticos empezaron a utilizarse para tratar tumores neuroendocrinos. Pero, sobre todo, resultan especialmente esperanzadores los resultados en el tratamiento del cáncer de próstata, el más frecuente en varones. Durante el congreso de la Sociedad de Oncología Clínica de EE.UU. en 2021, se presentaron los resultados de un estudio con más de 800 pacientes. La terapia teragnóstica aumentó la supervivencia en un 35% a enfermos con tumores terminales, un resultado muy prometedor. En concreto, este tratamiento utiliza como receptores diana unos antígenos específicos de membrana, presentes en la superficie de las células de la próstata, pero expresadas con mucha más intensidad en células cancerosas. Para el diagnóstico y la localización del tumor se utilizan radioisótopos de flúor y galio, que pueden detectarse fácilmente mediante técnicas como la tomografía de emisión de positrones. Para el tratamiento se utiliza lutecio, un elemento químico que emite la suficiente radiación como para matar las células tumorales. Como explica Manuel Ansedo en *El País*, la teragnosis es como disparar primero una flecha con una bombilla y después otra flecha con una pequeña carga explosiva<sup>4</sup>.

Los expertos creen que, muy pronto, este tipo de tratamientos podrían adaptarse a muchos otros tumores, gracias a receptores como los inhibidores de la proteína de activación de fibroblastos, que permite modificar la afinidad para diferentes tipos de células malignas. El gran interés por esta tecnología quedó demostrado en octubre de 2018 tras la fuerte apuesta del gigante farmacéutico Novartis, que invirtió 1.700 millones de euros en las terapias teragnósticas con lutecio-177<sup>5</sup>. En 2021, esta compañía suiza anunció resultados muy positivos de sus estudios clínicos en fase III, donde se prueban los fármacos en humanos comparando con tratamientos existentes y placebos, para asegurar la seguridad y la efectividad de los nuevos medicamentos. Pocos meses más tarde, la agencia del medicamento de EE.UU. (FDA), encargada de regular nuevos fármacos, decidió acelerar la revisión de este tipo de tratamientos teragnósticos por su enorme potencial para diagnosticar, tratar y prevenir enfermedades<sup>6</sup>.

#### *Nanotecnología.*

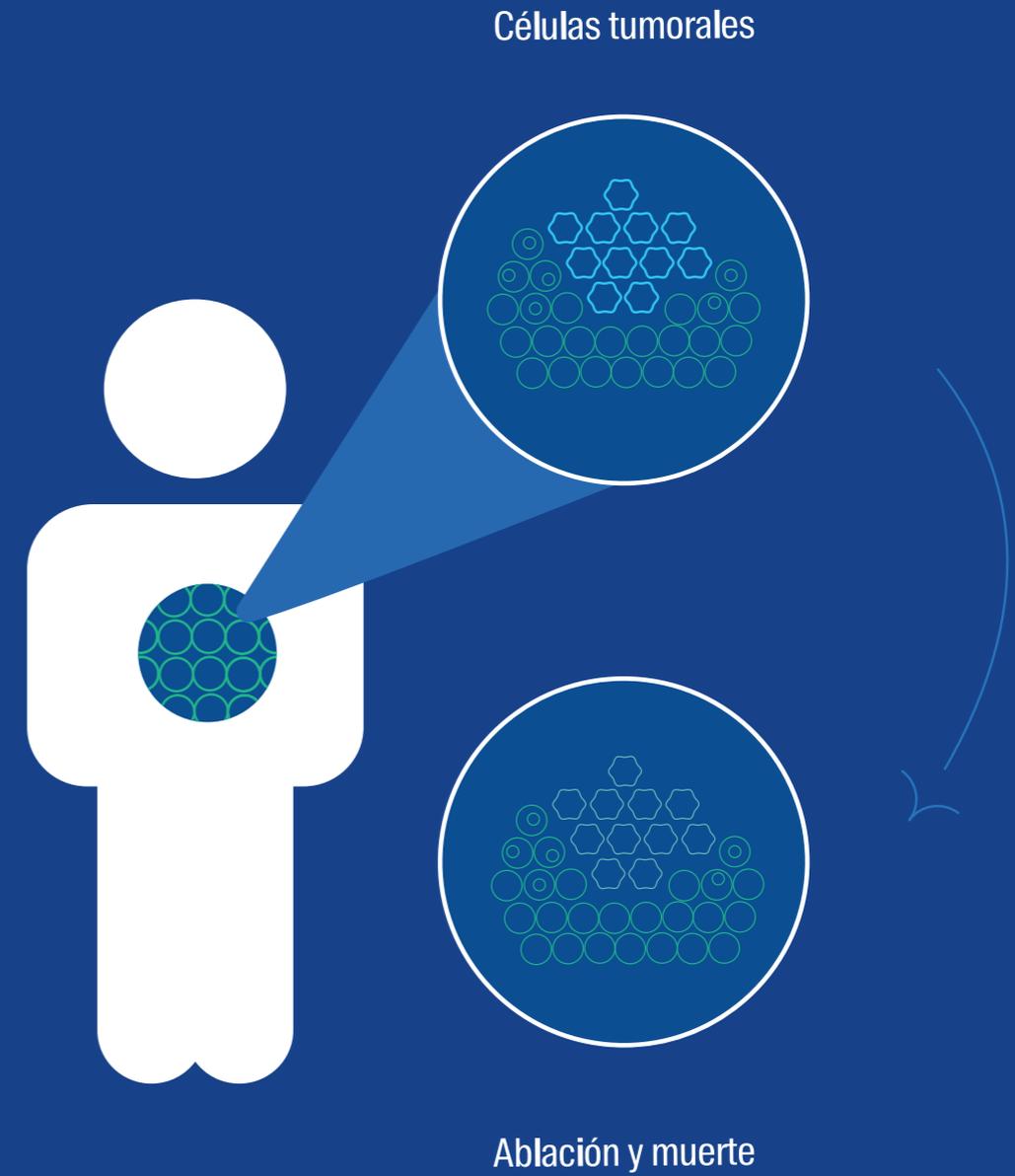
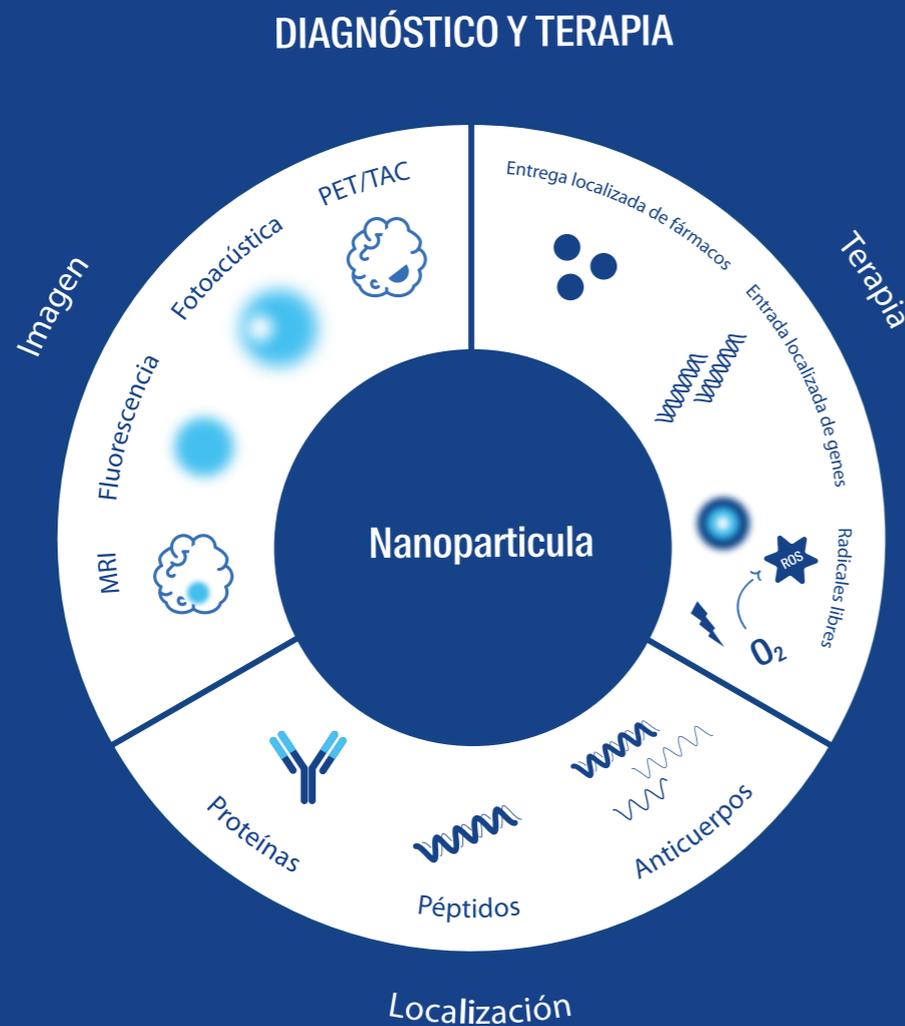
Además de la radioterapia y medicina nuclear, otro campo que ha permitido el avance de los teragnósticos es la nanotecnología, que recientemente ha demostrado su tremendo potencial en medicina gracias a las diferentes vacunas contra la COVID-19. Mediante el uso de nanopartículas lipídicas, ha sido posible distribuir un mensaje para nuestras proteínas codificado en forma de hebras de ARN. Y es que, para muchos expertos, los nanomateriales son ideales para aplicaciones en medicina. Entre otras cosas, podemos decorarlos con diferentes “flechas” y desarrollar terapias con diversas dianas biológicas. Como en el caso de las vacunas COVID, los nanomateriales pueden utilizarse para transportar medicamentos, en muchos casos combinaciones de sustancias para diagnóstico y para terapia. También presenta un gran atractivo el diseño de nanomateriales para responder a diferentes estímulos externos, lo que permite que se pueda interaccionar con ellos a través de pulsos eléctricos, rayos de luz y campos magnéticos, entre otros.

Por último, los nanomateriales presentan tamaños similares a estructuras biológicas como nuestras células. Esto permite, por ejemplo, que podamos diagnosticar enfermedades en estadios muy tempranos, algo impensable con tecnologías tradicionales como las ecografías, las radiografías y la resonancia magnética, que suelen requerir una gran masa crítica

Fuente: Royal Society of Chemistry

**FIGURA 1.**

**DIAGNÓSTICO Y TERAPIA.** LA TERAGNÓSTICA COMBINA TÉCNICAS PARA LA DETECCIÓN DE ENFERMADES (DIAGNÓSTICO) Y SU TRATAMIENTO (TERAPIA). PARA ELLO, SE UTILIZAN DIFERENTES AVANCES CIENTÍFICOS, TANTO DESDE EL PUNTO DE VISTA DE LA FARMACOLOGÍA Y LA ENTREGA LOCALIZADA DE FÁRMACOS COMO DESDE EL DISEÑO DE NUEVOS EQUIPOS PARA LAS CLÍNICAS Y HOSPITALES. LA COLABORACIÓN ENTRE CAMPOS ES FUNDAMENTAL PARA EL AVANCE DE LAS NUEVAS TECNOLOGÍAS QUE NOS ACERCAN, CADA VEZ MÁS, A TRATAMIENTOS EFICACES PERSONALIZADOS.



de células afectadas. El tamaño de los nanofármacos también facilita la creación de terapias extremadamente específicas y selectivas, preparadas para liberar los principios activos únicamente allá donde son necesarios, lo que aumenta su eficacia y disminuye la aparición de efectos secundarios<sup>7</sup>.

Los nanomateriales para teragnosis tienen tres componentes fundamentales. En primer lugar, necesitan una estructura transportadora, que almacena y protege la carga utilizada tanto en el diagnóstico como en el tratamiento. Los transportadores suelen ser nanopartículas, estructuras huecas fabricadas con materiales como lípidos, polímeros y sustancias porosas. Después, el siguiente ingrediente más importante son los modificadores de superficie. Estas sustancias confieren especificidad a las nanopartículas, son las moléculas “flecha” capaces de identificar diferentes dianas biológicas. Existen muchas alternativas, entre ellas proteínas, anticuerpos, azúcares, y pequeños fragmentos de ácidos nucleicos como ARN y ADN. Sea cual sea la molécula elegida para la superficie, su objetivo es siempre el mismo: poder reconocer las dianas de forma selectiva. Una vez que se produce este reconocimiento, comenzará la liberación del fármaco. Este es el tercer ingrediente clave de los nanomateriales, el contenido de los transportadores. En muchos casos, como hemos explicado anteriormente, se utilizan los mismos vehículos para transportar tanto las sustancias para la detección y el diagnóstico de la enfermedad como para comenzar el tratamiento. A veces, la nanopartícula contiene todos los ingredientes al mismo tiempo, y simplemente se activan en etapas sucesivas utilizando estímulos externos<sup>8</sup>.

#### *Terapias activadas con luz.*

En este sentido, probablemente las opciones más atractivas sean las terapias activadas con luz. Estas alcanzan unos niveles muy altos de precisión y permiten una teragnosis muy controlada, con apenas efectos secundarios. En las terapias fotodinámicas, las nanopartículas están funcionalizadas con moléculas sensibles a distintos tipos de luz, que actúan a modo de interruptor para encender la terapia desde el exterior. Algunos estudios han demostrado que la fototerapia es más eficaz que la cirugía para tratar ciertos tipos de cáncer, además de ser más precisa y menos invasiva. Actualmente, la FDA ha aprobado varias terapias de este tipo para tratar el cáncer. Entre las más comunes se encuentran los medicamentos teragnósticos Photofrin



y Levulan. El primero se utiliza para detectar y tratar ciertos tipos de cáncer de pulmón y esófago; una vez administrado el medicamento, se activa mediante la aplicación de una luz láser roja. El segundo es un medicamento tópico, utilizado directamente sobre la piel, para identificar y tratar lesiones de queratosis actínica, una enfermedad que puede degenerar en cáncer. En este caso, la activación se realiza por medio de luz LED azul<sup>9</sup>.

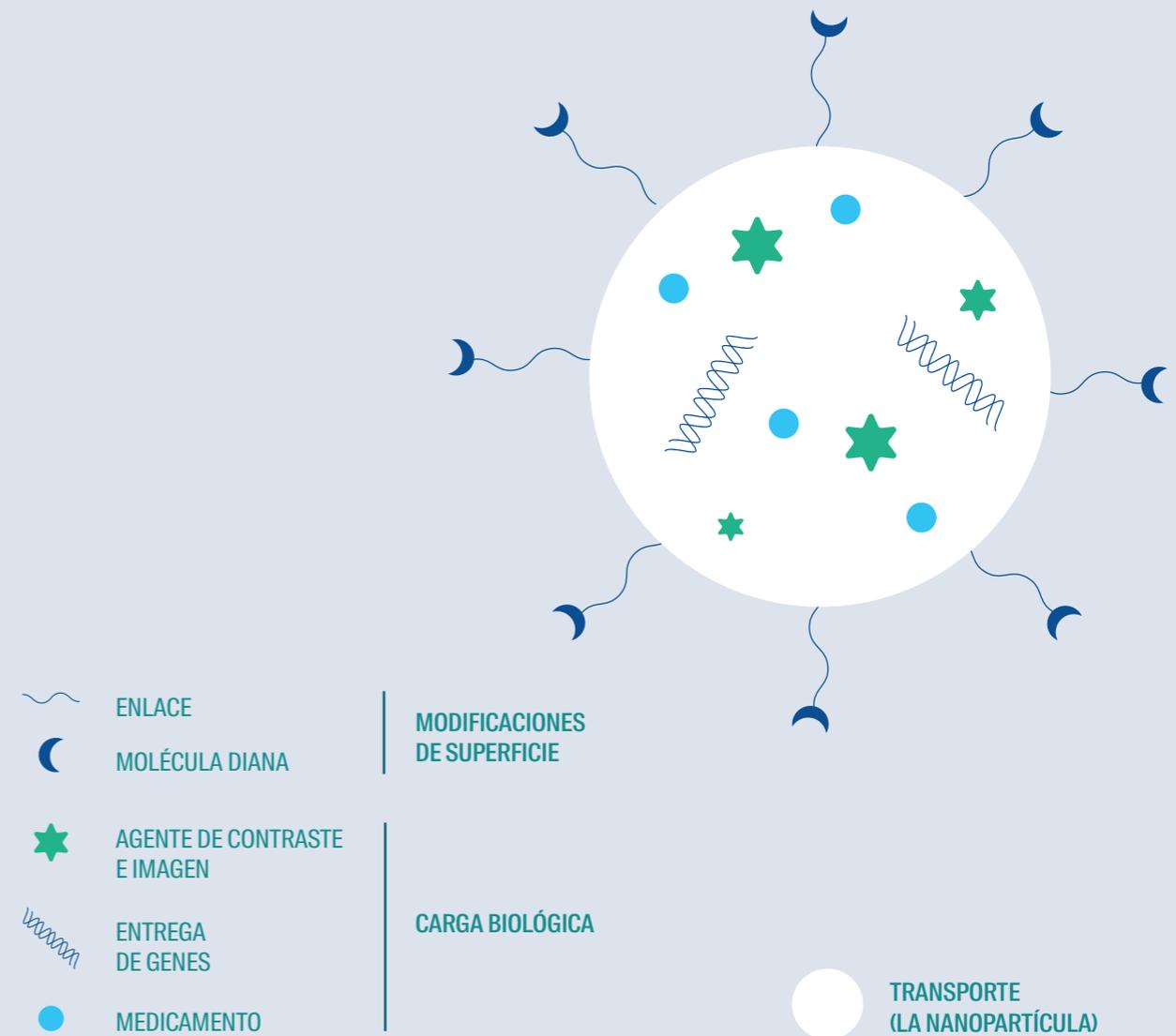
Como en el resto de terapias teragnósticas, la mayor ventaja radica en la aplicación selectiva sobre las áreas afectadas, un tipo de medicina personalizada que reduce la toxicidad de los tratamientos a largo plazo. Más allá de los tratamientos superficiales, también se están estudiando otras soluciones que reaccionan ante estímulos de luz infrarroja, que puede penetrar tejidos mejor que la luz visible y, por lo tanto, activar los nanomedicamentos a distancias más largas. También se están llevando a cabo estudios clínicos sobre soluciones teragnósticas de terapias fototérmicas. Una vez activados mediante estímulos lumínicos, estos medicamentos generan un aumento de la temperatura de forma local, alrededor del tejido canceroso, lo que provoca la muerte de las células tumorales. Cuando se evalúe la eficacia y la seguridad de estas tecnologías, los expertos esperan que se trasladen a la práctica clínica rápidamente<sup>10</sup>.

En general, los éxitos preliminares de los tratamientos teragnósticos son muy prometedores, y muestran la importancia de seguir investigando alternativas a la quimioterapia y la radioterapia.

Fuente: Royal Society of Chemistry

FIGURA 2.

**NANOPARTÍCULAS FUNCIONALIZADAS.** LA NANOTECNOLOGÍA HA POTENCIADO EL DESARROLLO DE NUEVAS TERAPIAS TERAGNÓSTICAS. ESTOS PRODUCTOS PUEDEN MODIFICARSE, MEDIANTE DIFERENTES PROCESOS, PARA CREAR DIAGNÓSTICOS Y TRATAMIENTOS QUE SON PERSONALIZADOS, DIRIGIDOS Y ESPECÍFICOS.





## Retos y Oportunidades

**Europa lidera la producción de radioisótopos, pero afronta elevados costes, carencia de medicamentos de precisión y desafíos regulatorios**

Hay motivos para la satisfacción en Europa, como el hecho de contar con la mayoría de reactores para la producción del radioisótopo Tc-99m (Bélgica, Países Bajos y República Checa), el más utilizado en más de 40 millones de estudios de diagnóstico realizados anualmente, de los que EE.UU. consume la mitad y no generaba apenas suministro<sup>11</sup>. El CERN apadrina también el proyecto PRISMAP un consorcio de 23 centros de 13 países, entre los que no está España, que incluyen las fuentes de neutrones intensos e impulsarán el programa europeo de producción de nuevos radionucleidos de grado de alta pureza para la medicina<sup>12</sup>.

No obstante, es preciso llevar a cabo una acción potente y concertada porque las terapias teragnósticas son muy prometedoras, pero presentan varios desafíos que complican su llegada a los pacientes. No se puede patentar un radio-núclido o la PSMA, una proteína transmembrana presente en tejidos humanos, ya que ambos existen en la naturaleza. De este modo, la competencia se orienta a desarrollar moléculas que se unan al PSMA, y a que se puedan marcar las células con un radioisótopo de interés. A esto se añade que la extracción de radioisótopos para medicina es un uso secundario costoso: puede requerir la reconversión de los reactores o la incorporación de ciclotrones, con precios que rondan en torno a los tres millones de dólares. Los equipos para obtener imágenes multimodales, que involucran la combinación de imágenes de diferentes escáneres, cuestan alrededor de siete millones de dólares, y si nos vamos a un escáner PET/CT de última generación, como el desarrollado por el consorcio multiinstitucional EXPLORER, con una sensibilidad 40 veces mayor que la disponible en la actualidad, su coste aproximado es de 10 millones de euros. Los isótopos raros, que son los que ofrecen grandes promesas en teragnóstica, tampoco son baratos, ni las moléculas que los unen a células cancerosas específicas<sup>13</sup>. Cuatro dosis de Lutathera cuestan casi 200.000 dólares y de Xofigo (cloruro de radio) 70.000, ambos son medicamentos oncológicos.

Hay aspectos más preocupantes incluso que los económicos. Por ejemplo, alrededor del 55% de todos los ensayos clínicos oncológicos en 2018 involucraron el uso de biomarcadores, en comparación con el 15% de 2000. Pero la disponibilidad de medicamentos de precisión vinculados a biomarcadores es un requisito previo para las pruebas, ya que la mayoría

de los médicos no ordenan que se realicen éstas a menos que los resultados puedan usarse para informar las decisiones de tratamiento. En muchos países, hay retrasos significativos hasta que los medicamentos aprobados por la Agencia Europea de Medicamentos se lancen y se incluyan en las listas nacionales, de modo que el tiempo medio de acceso de los pacientes a los tratamientos en la UE es de 504 días<sup>14</sup>.

### El tiempo medio de acceso de los pacientes a los tratamientos en la UE es de 504 días

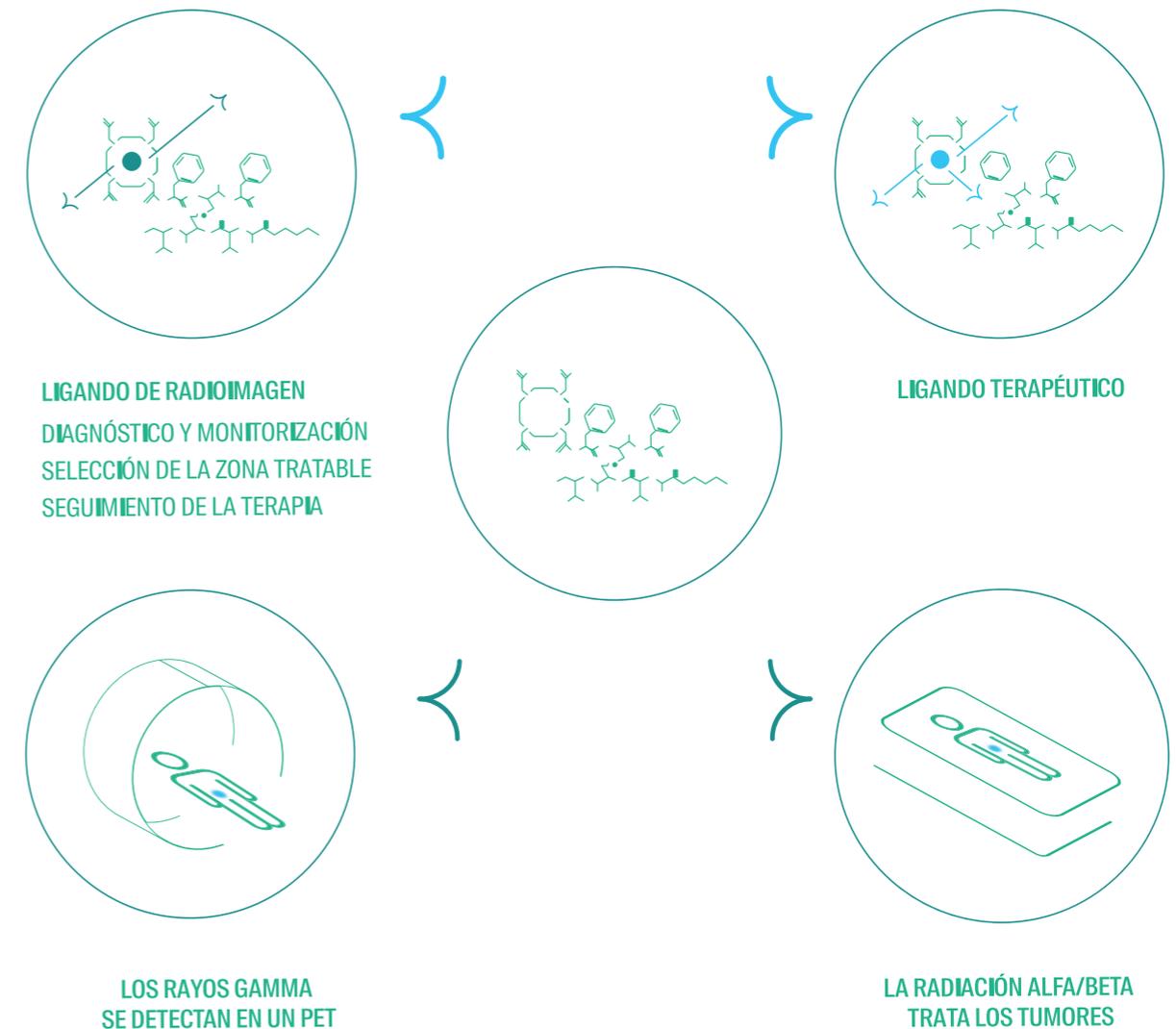
La innovación en este sector plantea también desafíos regulatorios. En las terapias teragnósticas en las que interviene la nanotecnología no es fácil determinar la norma aplicable cuando su principal modo de acción no es obvio, o cuando están compuestos por dos o más componentes que están regulados bajo varios marcos. De ahí que se pida una gobernanza armonizada que garantice un acceso rápido a soluciones terapéuticas para las necesidades médicas<sup>15</sup>. En cuanto a los desafíos técnicos, el más importante es la escasez internacional de equipos de profesionales médicos, radioteragnósticos con experiencia adicional en el campo de la radiofarmacia, interdisciplinarios, capaces de trabajar con protocolos estandarizados y eficientes como los que rigen el uso de sustancias radiactivas.

Además, todavía queda mucha investigación que realizar y llevar al sistema sanitario relacionada con las combinaciones óptimas de agentes teragnósticos con otros tratamientos sinérgicos, como quimioterapia, inhibidores dirigidos e inmunoterapias<sup>16</sup>. Y buena parte de la nanoteragnóstica aún no ha alcanzado los estándares clínicos: algunos de sus sistemas demuestran una eficacia diagnóstica significativa, pero carecen de competencia terapéutica, y viceversa; y aunque muchos modelos ofrecen perspectivas prometedoras en animales in vivo, al trasladarse a personas su aplicación generalmente falla.

Fuente: ADACAP

FIGURA 3.

**UNA MISMA MOLÉCULA, DOS FUNCIONES.** EN TERAGNOSIS, ALGUNAS SOLUCIONES PROPONEN UTILIZAR LA MISMA MOLÉCULA CON DIFERENTES PIEZAS INTERCAMBIABLES. ESTAS PIEZAS PERMITIRÍAN FUNCIONALIZARLA DE FORMAS DISTINTAS, PERO SENCILLAS, PARA TÉCNICAS DE RADIODIAGNÓSTICO E IMAGEN, O BIEN PARA TRATAMIENTOS PERSONALIZADOS DE RADIOTERAPIA.





## *El potencial de España*

### **España cuenta con tres plantas industriales dedi- cadas a la actividad terag- nóstica de las 26 que exis- ten en Europa**

El posicionamiento de España en este campo de innovación tecnológica de vanguardia es todavía discreto. Apenas tres plantas de producción industrial, dos de ellas de Bayer, en Valladolid y La Felguera (Asturias) y una tercera del grupo francés Ipsen en Sant Feliu de Llobregat (Cataluña), entre las 26 que se adscriben a la actividad teragnóstica en Europa. En el campo de la investigación y la atención médica, el nivel es superior gracias al desarrollo de la medicina nuclear a lo largo del Servicio Nacional de Salud. En ese sentido, destaca la puesta en marcha del Plan INVEAT por parte del Ministerio de Sanidad, que se nutre de fondos del Plan de Recuperación, Transformación y Resiliencia y contempla la compra de 86 equipos de tomografía computarizada por emisión de fotón único (SPECT-TC)<sup>17</sup>. La tecnología SPET-TC con radiofármacos PSMA marcados con <sup>18</sup>F es una técnica de imagen no invasiva, que supone un gran avance clínico en el manejo de los pacientes con cáncer de próstata y que se usa ya en centros españoles como el Hospital Puerta del Mar de Cádiz<sup>18</sup>.

En el campo de la investigación, el CSIC trabaja en nuevos desarrollos en el ámbito de las terapias teragnósticas, como dispositivos para obtener mamografías más eficaces, métodos para lograr biopsias en tiempo real, hidrogeles para cultivar linfocitos T y aplicarlos en inmunoterapia, y nanopartículas para atacar el cáncer<sup>19</sup>. Por su parte, el grupo ICFO-Medical Optics trabaja con métodos ópticos difusos, como la espectros-

copia de infrarrojo cercano y la espectroscopia de correlación difusa, para desarrollar tecnologías con aplicaciones preclínicas y clínicas. Colabora, en ese sentido, con una red de hospitales y centros biomédicos en España y en todo el mundo y se centra su actividad en la teragnóstica para desarrollar nuevos biomarcadores en aplicaciones clínicas críticas.

En 2018, la Unidad de Medicina Nuclear del Hospital Reina Sofía de Córdoba trató a su primer paciente con un método de teragnosis basado en lutecio <sup>177</sup><sup>20</sup>, de la mano de la Sociedad Española de Medicina Nuclear, y un año después el hospital Virgen de la Arrixaca en Murcia se convirtió en 2019 en el primer hospital público del país en implantar un generador propio de germanio-galio 68, un radiofármaco que permite filtrar con mayor precisión a los pacientes susceptibles de ser tratados posteriormente con lutecio 177.



## Aplicación e impacto

**Se estima que el volumen de negocio de las terapias radioteragnósticas alcanzará los 13.000 millones de dólares en 2025**

El éxito del experimento VISION de Novartis, considerado el evento más significativo en medicina nuclear de las últimas décadas<sup>21</sup>, ha dado alas a las iniciativas que exploran la teragnóstica más allá del cáncer de próstata y se dirigen hacia otros tumores de alta incidencia. Hay otros factores coyunturales que han contribuido a vigorizar el proceso y no se deben desdeñar, con incidencia en todas las áreas de investigación situadas en la vanguardia de la innovación médica, como el hecho de que las empresas farmacéuticas se enfrentan estos años a altas presiones financieras debido a la expiración de sus patentes sobre los principales fármacos innovadores de éxito y a la mayor competencia por sus genéricos, lo que podría provocar una caída sustancial de sus ingresos y un aumento de las inversiones asociadas a los productos innovadores si no expanden su portfolio<sup>22</sup>.

La capacidad de las empresas biotecnológicas vinculadas directa o indirectamente a la teragnóstica a la hora captar inversión ha puesto también otro foco de atención sobre el sector: en el ámbito de la teragnóstica nuclear, Novartis invirtió 6.000 millones de dólares para adquirir Endocyte y Bracco tuvo que pagar 500 millones de dólares por Advanced Accelerator Applications. La próxima fiebre del oro se vincula con la proteína de activación de fibroblastos (FAP) y está ya a la vuelta de la esquina, con actores como Clovis Oncology y Sofie Biosciences en primera línea inversora<sup>23</sup>. Se estima que el cáncer provocará

30 millones de muertes al año en 2030 y las previsiones para el mercado mundial de la nanomedicina, que pueden servir de referencia sobre la dimensión del crecimiento que se avecina, apuntan a 350.800 millones de dólares en 2025, año en el que algunos cálculos sitúan el volumen de negocio ligado a las terapias radioteragnósticas en 13.000 millones de dólares. Hasta el punto de que el centro tecnológico Medicines Discovery Catapult de Reino Unido no tuvo más remedio que reabrir el Wolfson Molecular Imaging Center en Manchester, cerrado un año antes, para que su Cyclotron, en el que se invirtieron varios millones de libras, suministre sustancias radiactivas difíciles de fabricar a los innovadores, con la teragnóstica como una de las nuevas áreas de expansión en el horizonte<sup>24</sup>.

*El cáncer provocará 30 millones de muertes al año para 2030. Europa incluye el programa Euratom en el Plan de Lucha contra el Cáncer*

Europa ha reaccionado con fuerza para no quedarse atrás y la teragnosis y las tecnologías vinculadas a ella reciben un fuerte impulso en el nuevo presupuesto 2021-2027. Se alzaron voces para crear un Laboratorio Europeo de Nanocaracterización (EU-NCL)<sup>25</sup>, porque el norteamericano ubicado en Frederick conseguía atraer talento europeo, investigadores y pymes, ofreciendo acceso gratuito a la mejor base de datos sobre nanopartículas para uso médico del mundo. En el Plan Europeo de Lucha contra el Cáncer, la Comisión Europea incluye, para el período 2021-2025, el apoyo del programa Euratom a la investigación en diagnósticos y terapias que utilizan fuentes de radiación; una plataforma europea para mejorar el acceso a los medicamentos contra el cáncer y apoyar la reorientación de los existentes, aprovechando la experiencia en este campo generada durante la COVID-19, en la que fue fundamental el concurso de la informática de alto rendimiento para llevar a cabo pruebas rápidas de las moléculas existentes y buscar nuevas combinaciones de medicamentos; la nueva iniciativa «Diagnóstico y Tratamiento del Cáncer para Todos», que utilizará tecnología de secuenciación de última generación para obtener perfiles genéticos de las células tumorales con agilidad y eficacia,

contribuyendo a reducir la desigualdad de acceso a la medicina personalizada; y para apoyar la seguridad del suministro de radioisótopos ha puesto en marcha un nuevo plan de acción en el marco de la Agenda Estratégica para las Aplicaciones Médicas de las Radiaciones Ionizantes (SAMIRA), con especial atención a la formación de los profesionales médicos en radiología, radioterapia y medicina nuclear, en estrecha colaboración con el Programa de Formación Interespecialidades<sup>26</sup>.

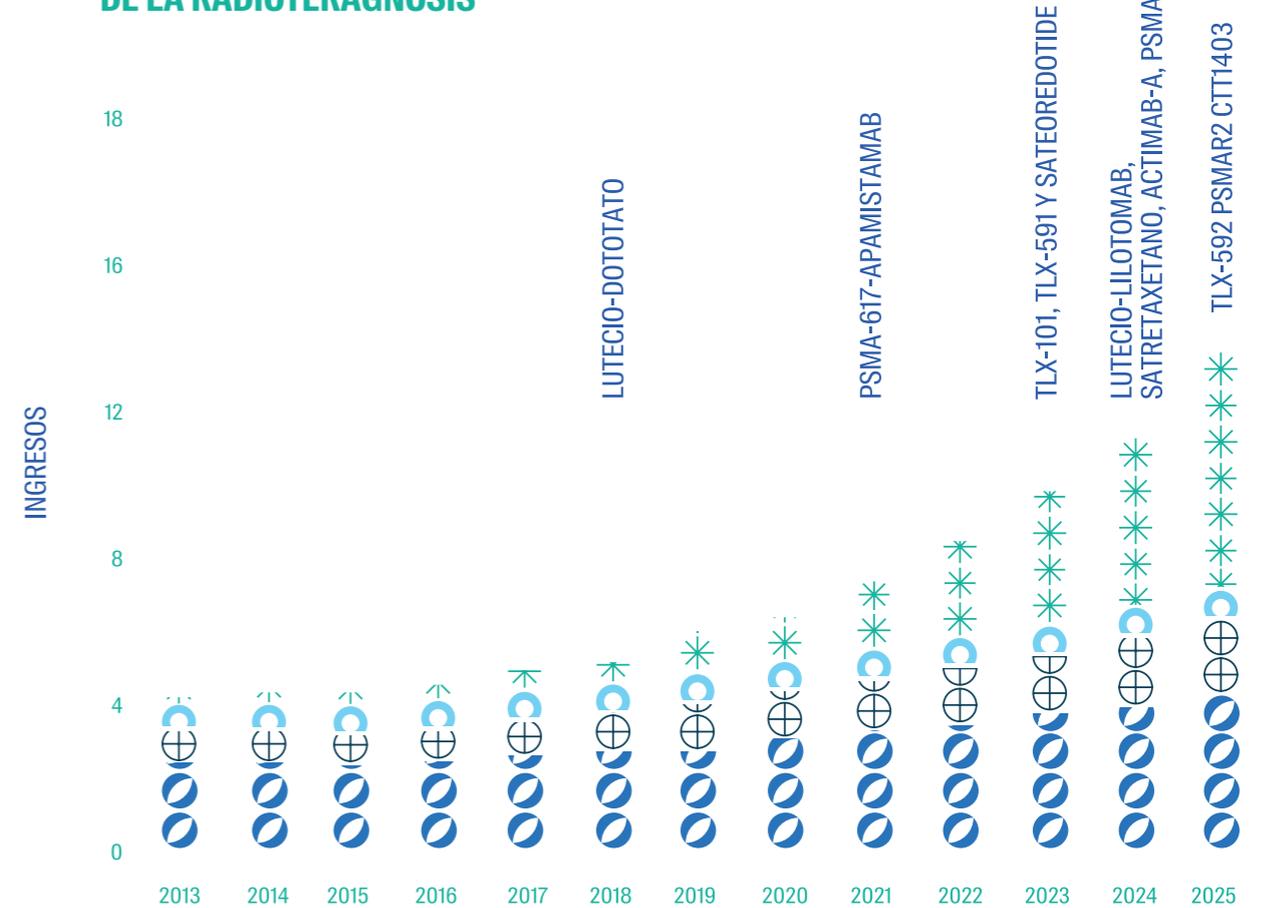
Fuente: MEDraysintell Nuclear Medicine report

-  TECNECIO-99
-  PET/TAC
-  OTROS
-  RADIOTERAGNÓSTICOS

FIGURA 4.

**CRECIMIENTO DE LOS INGRESOS EN RADIOTERAGNÓSTICA.** EN LOS ÚLTIMOS DIEZ AÑOS SE HAN MULTIPLICADO LOS INGRESOS EN EL CAMPO DE LOS TERAGNÓSTICOS CON MOLÉCULAS RADIATIVAS. ESTO SE DEBE, EN PARTE, A LA APROBACIÓN A NUEVOS FÁRMACOS COMO LOS DETALLADOS EN LA IMAGEN. SE PREVÉ QUE EL CRECIMIENTO SEA TODAVÍA MAYOR (CASI EXPONENCIAL) HASTA 2025. POR ESO, AHORA MISMO ES UN MOMENTO IDÓNEO PARA INVERTIR EN INVESTIGACIÓN Y DESARROLLO DE ESTAS TERAPIAS.

**CRECIMIENTO EN EL CAMPO DE LA RADIOTERAGNOSIS**





## *Conclusiones*

La teragnóstica ya no es una tecnología futurista, es el presente. Como explican los médicos especialistas, es una tecnología que ofrece radioterapia molecular de precisión y personalizada. No es matar moscas a cañonazos, sino atacar directamente a la célula tumoral y utilizar radiación para destruirla sin afectar a los tejidos sanos y sin apenas efectos secundarios. Los resultados de los primeros estudios clínicos son muy esperanzadores, y sin duda este tipo de tratamientos podrían adaptarse para diferentes tipos de cáncer y otras enfermedades. España cuenta con una posición privilegiada, y podría ser clave para el establecimiento de Europa como líder de estas terapias.

1. (a) Medline Plus (n.d.). **“Terapia con yodo radiactivo”**. Consultado el 5 de marzo de 2022. (b) E.B. Silberstein. *Seminars in Nuclear Medicine*, 2012, 42, 164, DOI: 10.1053/j.semnuclmed.2011.12.002.

2. Clínica Universitaria de Navarra (n.d.). **“Gammagrafía nuclear”**. Consultado el 5 de marzo de 2022.

3. C. Gallegos. **“Con la ‘teragnosis’ podemos tratar cualquier tipo de tumor”**. Redacción Médica, 11 de junio de 2021. Consultado el 5 de marzo de 2022.

4. M. Ansede. **“Teragnosis: una nueva esperanza contra el cáncer”**. *Materia / El País*, 9 de junio de 2021. Consultado el 5 de marzo de 2022.

5. Novartis (2018). **“Novartis announces planned acquisition of Endocyte”**. Consultado el 5 de marzo de 2022.

6. Novartis (2021). **“FDA grants Priority Review for radioligand therapy 177Lu-PSMA-617”**. Consultado el 5 de marzo de 2022.

7. S.Y. Fam et al. *Nanomaterials*, 2020, 10, 787, DOI: 10.3390/nano10040787.

8. P. Sharmiladevi et al. *Mater. Adv.* 2021, 2, 2876, DOI: 10.1039/D1MA00069A.

9. American Cancer Society (2021). **“Getting Photodynamic Therapy”**. Consultado el 5 de marzo de 2022.

10. C.D.G. Abueva. *Medical Lasers*, 2021, 10, 7, DOI: 10.25289/ML.2021.10.1.7.

11. FDA (2019). **“THERANOSTICS: Regulatory Considerations for Product Development”**. Consultado el 13 de marzo de 2022.

12. CERN (n.d.). **“PRISMAP Public Information”**. Consultado el 13 de marzo de 2022.

13. H.M.K. McGillivray et al. **“From diagnostics to theranostics, and why better cancer care will always be costly”**. *British Columbia Medical Journal*, diciembre de 2020. Consultado el 11 de marzo de 2022.

14. EFPIA (2021). **“Unlocking the potential of precision medicine in Europe”**. Consultado el 13 de marzo de 2022.

15. B. Halamoda-Kenzaoui et al., **“Anticipation of regulatory needs for nanotechnology enabled health products”**, Oficina de Publicaciones de la Unión Europea, 2019, DOI: 10.2760/599552. Consultado el 12 de marzo de 2022.

16. K. Herrmann et al. **“Radiotheranostics: a roadmap for future development”**, *The Lancet Oncology*, marzo de 2020. Consultado el 10 de marzo de 2022.

17. Gobierno de España (2021). **“El Gobierno destinará en 2021 cerca de 400 millones de euros en equipos de alta tecnología del SNS”**. Consultado el 13 de marzo de 2022.

18. Hospital Puerta del Mar (2021). **“El Hospital Puerta del Mar introduce un nuevo procedimiento para el diagnóstico precoz de recidivas de cáncer de próstata”**. Consultado el 13 de marzo de 2022.

19. CSIC (2021). **“Hidrogeles para inmunoterapia y nanomedicinas para atacar el cáncer”**. Consultado el 13 de marzo de 2022.

20. A. Alba, **“El Hospital Reina Sofía inicia una nueva terapia en tumores neuroendocrinos avanzados”**, *El Día de Córdoba*, 31 de diciembre de 2018. Consultado el 13 de marzo de 2022.

21. W.P. Fendler, K. Herrmann, M. Eiber, **“Nuclear Medicine Beyond VISION”**, *The Journal of Nuclear Medicine*, julio de 2021. Consultado el 11 de marzo de 2022.

22. S. Alshehri et al. *Pharmaceutics*, 24 de diciembre de 2020, DOI: 10.3390/pharmaceutics13010024. Consultado el 12 de marzo de 2022.

23. J. Calais. *Journal of Nuclear Medicine* 10 de enero de 2020. DOI: 10.2967/jnumed.119.241232. Consultado el 11 de marzo de 2022.

24. UK Bioindustry Association (2021). **“Medicines Discovery Catapult relaunches Wolfson Radiochemistry facility in Manchester”**. Consultado el 11 de marzo de 2022.

25. European Technology Platform on Nanomedicine (2018). **“Nanomedicine 2020”**. Consultado el 11 de marzo de 2022.

26. Comisión Europea (2021). **“Plan Europeo de Lucha contra el Cáncer. Comunicación de la Comisión al Parlamento Europeo y al Consejo”**. Consultado el 10 de marzo de 2022.

27. Ver Ref. 4.

# 09.

## El mundo de los robots

Robots que protagonizan la salud y los cuidados y transforman la industria

/ Mejora seguridad laboral  
/ Promover liberación de la creatividad  
/ Realización de tareas tediosas y complejas

/ Aprendizaje autónomo  
/ Reconocimiento de imágenes  
/ Control descentralizado, escalabilidad y solidez  
/ Robótica médica





## En clave

Los robots, máquinas mecánicas que imitan el comportamiento humano, existen desde la antigua Grecia. Pero, gracias a los últimos avances en telecomunicaciones, reconocimiento de imágenes y aprendizaje automático, están mucho más cerca de revolucionar la industria 4.0 y de crear nuevos modelos de negocio. Aquí, repasamos algunas de las aplicaciones más interesantes de la robótica. Aunque los robots no reemplazarán a los humanos (porque son dispositivos autónomos, pero nunca autosuficientes), sí que los sustituirán trabajos y tareas tediosas y peligrosas, para aumentar la seguridad laboral y liberar nuestra creatividad<sup>1</sup>.



## La tecnología

### Robots que protagonizan la salud y los cuidados y transforman la industria

Los robots adquirieron gran popularidad gracias a las obras de ciencia ficción de principios y mediados del siglo XX. Desde entonces, mecanismos cada vez más complejos han llevado a cabo tareas virtualmente imposibles para el ser humano, desde la exploración de planetas como Venus y Marte hasta la desactivación remota de explosivos<sup>2</sup>. Los expertos de IBM creen que cada vez veremos aplicaciones más transformadoras para nuestra industria, potenciadas por las conexiones de alta velocidad, como el 5G y el 6G, y las oportunidades que ofrece el internet de las cosas.

La salud y los cuidados son dos campos donde los robots han ganado protagonismo durante los últimos años. Y las posibilidades son prácticamente infinitas, desde los robots que proporcionan asistencia durante las cirugías, desarrollados ya durante la década de 1980, hasta las combinaciones con visión computarizada y aprendizaje automático. Estos últimos avances incluyen robots capaces de preparar habitaciones para pacientes y quirófanos, para limitar el contacto entre personas y la transmisión de enfermedades en situaciones peligrosas, y sistemas basados en inteligencia artificial para minimizar el tiempo que requiere organizar, preparar y distribuir todos los medicamentos dispensados en el día a día de un hospital<sup>2</sup>. Además de mejorar la eficiencia de los procesos hospitalarios y habilitar entornos sanitarios más seguros, los robots pronto ofrecerán una atención al paciente de calidad y personalizada, al mismo tiempo que reducen la carga de trabajo del personal. Algunos avances, por ejemplo, incluyen robots capaces de realizar por sí mismos cirugías poco invasivas, así como dispositivos que pue-

den monitorizar el avance de pacientes crónicos, que permiten el uso de terapias adaptadas, más eficientes e inteligentes. Por último, los robots más parecidos a la ciencia ficción, con aspecto humanoide, podrían encontrar pronto aplicaciones en el apoyo a los servicios sanitarios realizando tareas rutinarias, incluso entablar interacciones directas con humanos, especialmente aquellos que requieren cuidados intensivos y constantes. En estos casos, la multinacional Intel investiga soluciones que puedan interaccionar con los pacientes y monitorizar sus progresos. Así, los robots podrían ayudar a mantener a los pacientes activos, recordarles la frecuencia de su medicación, e incluso enviar mensajes positivos para facilitar la recuperación<sup>4</sup>. En medicina, los robots también están contribuyendo a la investigación y la educación. Gracias a los avances en inteligencia artificial, se estima que podría acelerarse el proceso de descubrimiento, desarrollo, regulación, fabricación y distribución de nuevos fármacos. Además de las ventajas evidentes de poder contar con nuevos tratamientos más rápidos, estos avances podrían reducir enormemente el coste de desarrollar medicamentos, un ahorro que actualmente se estima en más de 350 millones de dólares. En educación, los robots facilitan el acceso a simulaciones y escenarios de entrenamiento similares a la vida real y, además, podrían crear exámenes personalizados basados en casos reales y actuales, ajustados a las necesidades de cada estudiante<sup>5</sup>.

Más allá del mundo de la salud, los robots pronto transformarán nuestra industria, permitiéndonos avanzar hacia la industria 4.0, que aprovecha los últimos avances tecnológicos y conecta los dispositivos para crear fábricas inteligentes y autónomas. Una de las ventajas de los nuevos robots industriales es su capacidad de ver y evaluar el entorno, a través de las herramientas conocidas como *machine vision*, visión industrial. Gracias a nuevas cámaras avanzadas, capaces de detectar longitudes de onda más allá del espectro visible al ojo humano, los robots pueden interactuar con otros elementos a su alrededor, y tomar decisiones basadas en las señales recibidas. Con el crecimiento de los pequeños sensores y dispositivos interconectados del internet de las cosas, los robots podrán comunicarse y colaborar para crear industrias más eficientes y seguras. Entre otras aplicaciones futuristas, la multinacional Fanuc trabaja en el desarrollo de robots que pueden aprender de otros, así como enseñar a los recién llegados a la planta. Con los avances en inteligencia artificial y transmisión de datos, estas tecnolo-

gías crecerán un 175% en la próxima década, al mismo tiempo que se abaratan los costes de fabricación y se progresa en el desarrollo de chips y dispositivos electrónicos<sup>6</sup>. La adopción de robots y otras máquinas automáticas y automatizadas será un determinante directo del crecimiento global de la productividad y, además, tiene el potencial de adaptar las cadenas de suministro a las nuevas necesidades de un mundo globalizado. La robotización de la industria puede incluso presentar mejoras en el empleo. De hecho, los expertos estiman que mejorará las condiciones laborales, y permitirá desplazar muchas fábricas fuera de los países del sur global, para así descentralizar la producción, democratizar el acceso a nuevos productos y empujar el desarrollo económico a través de la innovación<sup>7</sup>.

## Los robots enjambre se coordinan para tareas complejas y los robots con blandos permiten interacciones sutiles

Quizás dos de las tecnologías más atractivas en robótica sean los robots enjambre y los robots blandos. Los primeros tendrán la capacidad de comunicarse y coordinarse para llevar a cabo tareas complejas, trabajando en equipo, y los segundos permitirán unas interacciones más adaptables al comportamiento humano, mediante el uso de materiales blandos como los plásticos, las siliconas, el caucho, incluso tejidos biológicos. Los robots enjambre están inspirados en las colonias de insectos, diseñados para actuar de forma coordinada y organizada en grandes superficies. Los robots pueden organizarse de forma diferente según los requisitos de la tarea, agregándose, dispersándose, formando estructuras y patrones, y trabajando en diferentes equipos con distintos objetivos. Algunas de las aplicaciones más llamativas son la localización y transporte de objetos (así como animales y personas) de forma independiente y la recolección de cosechas, un paso más hacia la agricultura de precisión. De momento, la mayor parte de este tipo de robots están en fase de desarrollo, y apenas existen aplicaciones comerciales reales. En el futuro, el avance de nuevos métodos y modelos matemáticos, los análisis de seguridad, y las nuevas metodologías para la comunicación y coordinación

Fuente: Spectral Engines

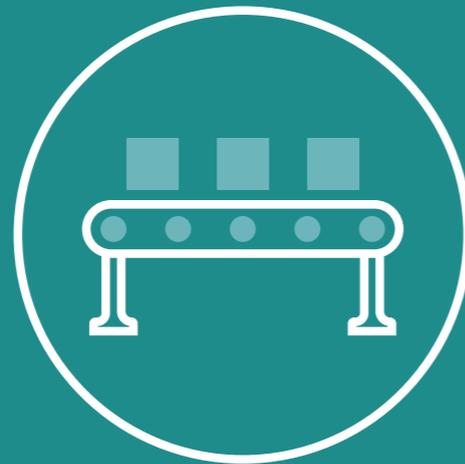
**FIGURA 1.**

**LAS CUATRO REVOLUCIONES INDUSTRIALES.** LA LLEGADA DE LOS ROBOTS CONECTADOS Y EL INTERNET DE LAS COSAS ARRANCA LA CUARTA REVOLUCIÓN INDUSTRIAL, NORMALMENTE DENOMINADA INDUSTRIA 4.0. GRACIAS A LAS HERRAMIENTAS INTERCONECTADAS Y AUTOMATIZADAS, AUMENTARÁN LA EFICIENCIA, LA SEGURIDAD Y LA PRODUCTIVIDAD DE LOS PROCESOS INDUSTRIALES, LO QUE PERMITIRÁ DISEÑAR NUEVOS MODELOS DE NEGOCIO. SONALIZADOS.



**INDUSTRIA 1,0**

MECANIZACIÓN E INTRODUCCIÓN DE LA ENERGÍA DEL AGUA Y EL VAPOR



**INDUSTRIA 2,0**

PRODUCCIÓN EN MASA, CADENAS DE MONTAJE QUE UTILIZAN ELECTRICIDAD



**INDUSTRIA 3,0**

PRODUCCIÓN AUTOMATIZADA CON ORDENADORES, TECNOLOGÍA Y ROBÓTICA



**INDUSTRIA 4,0**

LAS FÁBRICAS INTELIGENTES: SISTEMAS AUTÓNOMOS, INTERNET DE LAS COSAS, APRENDIZAJE AUTOMÁTICO

de los enjambres podrían acelerar la implantación de la tecnología. Por supuesto, serán necesarios protocolos de seguridad muy estrictos, para evitar perder el control sobre el manejo de los enjambres, prevenir ataques de hackers y garantizar que los equipos son inaccesibles para robots intrusos<sup>8</sup>. Probablemente, las aplicaciones más interesantes surjan en conservación del medio ambiente y respuestas a desastres meteorológicos. Algunos prototipos han demostrado un gran potencial en la detección de contaminación en grandes superficies, como bosques y océanos, y en la preparación de medidas de contingencia ante huracanes, donde los robots son capaces de mapear las zonas en riesgo y prepararlas para la contingencia distribuyendo medidas de protección. Para todas estas aplicaciones, será fundamental el desarrollo de nuevos sensores, actuadores, controladores y dispositivos de comunicación cada vez más pequeños. Los progresos en miniaturización de la electrónica facilitarán el avance del campo. En este sentido, destaca el enjambre de robots Kilobot, desarrollado por el instituto Wyss de Boston, EE. UU., que sincroniza 1.024 microrobots y aprende a través de inteligencia artificial a desarrollar aplicaciones en medicina, medio ambiente, construcción y labores humanitarias. Estos dispositivos también están adaptados para funcionar bajo el agua. Actualmente, los investigadores buscan aplicaciones en la monitorización de contaminantes en la costa y el seguimiento y cuidado de los arrecifes de coral.

#### *Xenobots fabricados con células.*

Los robots blandos también han adquirido un creciente protagonismo, debido a propiedades muy atractivas como su resiliencia, la autorreparación, e incluso la autorreplicación. En general, los robots blandos aportan unas propiedades y una versatilidad comparables a la naturaleza, gracias a los desarrollos en nuevos materiales y electrónica flexible. Según los expertos, la biomedicina es una de las aplicaciones más atractivas de los robots blandos, desde el desarrollo de productos inteligentes vestibles, hasta los últimos avances en prótesis, pasando por robots blandos miniaturizados para tareas como la distribución de medicamentos, la reparación de tejidos y las pruebas exploratorias mínimamente invasivas. Un desarrollo interesante, facilitado por los robots blandos y los actuadores elásticos, son los músculos artificiales. Estos pueden implementarse en soluciones macroscópicas, como guantes y prendas robóticas para facilitar los movimientos en personas con movilidad reducida y



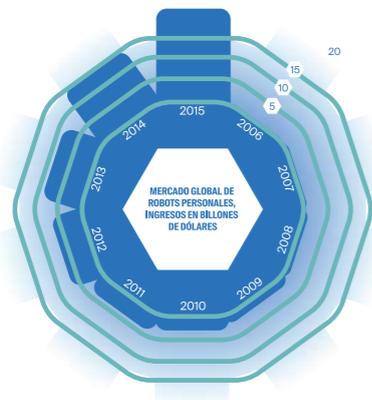
Fuente: Grishin Robotics

FIGURA 2.

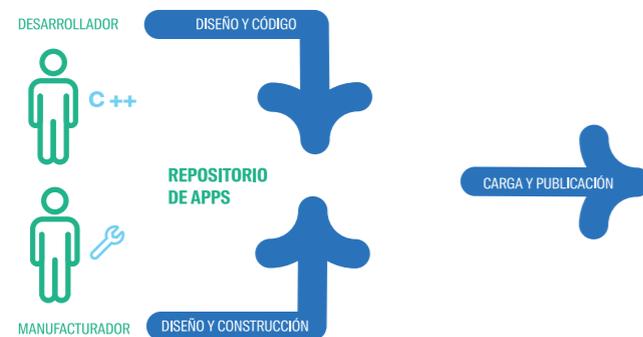
**LA CONECTIVIDAD Y LOS ROBOTS.** LA CONECTIVIDAD ENTRE DIFERENTES ROBOTS, A TRAVÉS DE LA NUBE Y EL INTERNET DE LAS COSAS, PROPORCIONARÁ MILES DE NUEVAS FUNCIONALIDADES. GRACIAS A ESTA INTERCONECTIVIDAD, LOS ROBOTS PODRÁN REALIZAR TAREAS COLABORATIVAS DE FORMA AUTOMÁTICA Y, ADEMÁS, DESCARGAR PAQUETES DE APLICACIONES CON LOS QUE SEGUIR APRENDIENDO TAREAS SENCILLAS, DISPONIBLES EN REPOSITORIOS COLABORATIVOS.

## EL FUTURO DE LA ROBÓTICA EN LA NUBE

LA ROBÓTICA DE CONSUMO ESTÁ CRECIENDO

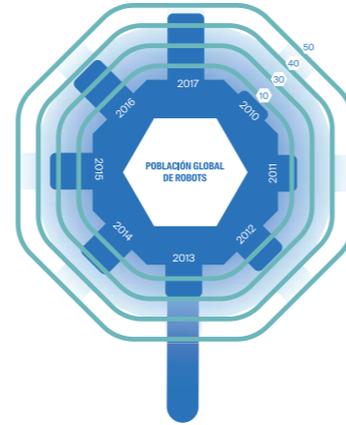


El mercado de los robots personales crecerá más de 19.000 millones de dólares en cinco años.



La nube facilitará el rápido crecimiento de la robótica de consumo, donde las tiendas de aplicaciones jugarán un papel fundamental. ¿Cómo está todo relacionado?

La población de robots personales y de servicio se ha multiplicado por 10 en los últimos 4 años. Además, se espera que siga creciendo de forma exponencial y que alcance los 100 millones de robots de servicio en 5 años.



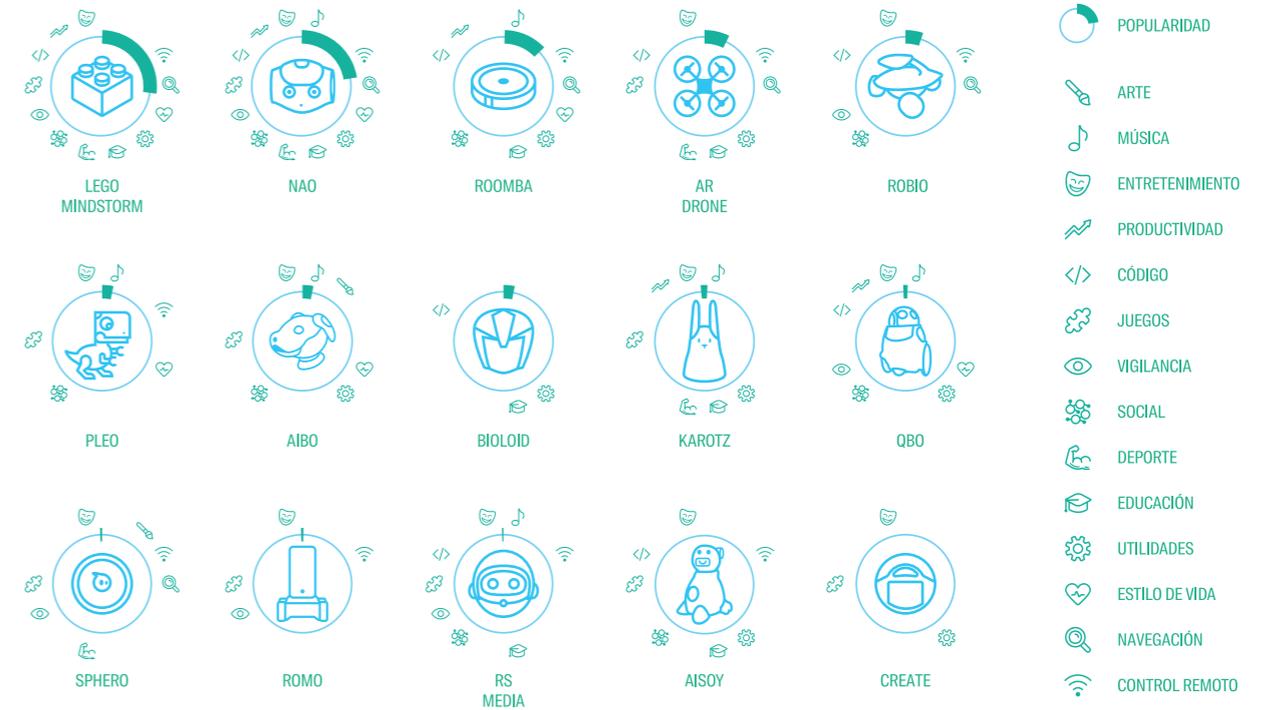
DUEÑOS DE ROBOTS

ROBOT APP STORE

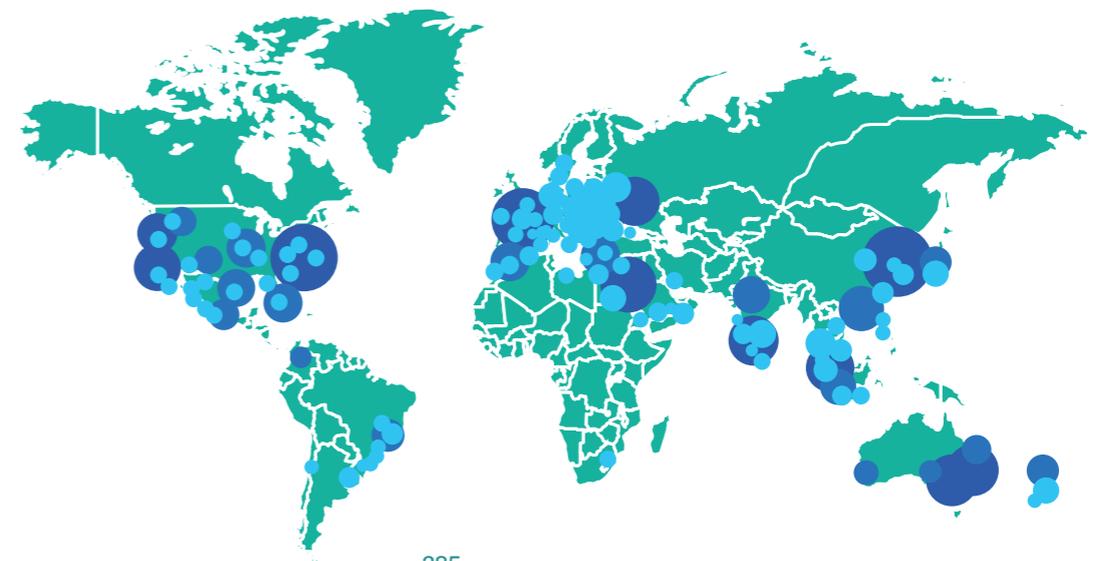
SITIO WEB PÚBLICO

## LA APP ROBÓTICA EN LA NUBE

Podemos enseñar a los robots tareas diferentes mediante la instalación de aplicaciones. Pronto, estos robots podrán actualizarse en tiempo real gracias a conexiones directas con la nube, donde podrán conseguir aplicaciones directamente.



## LAS APPS DE ROBOTS SON USADAS EN TODO EL MUNDO



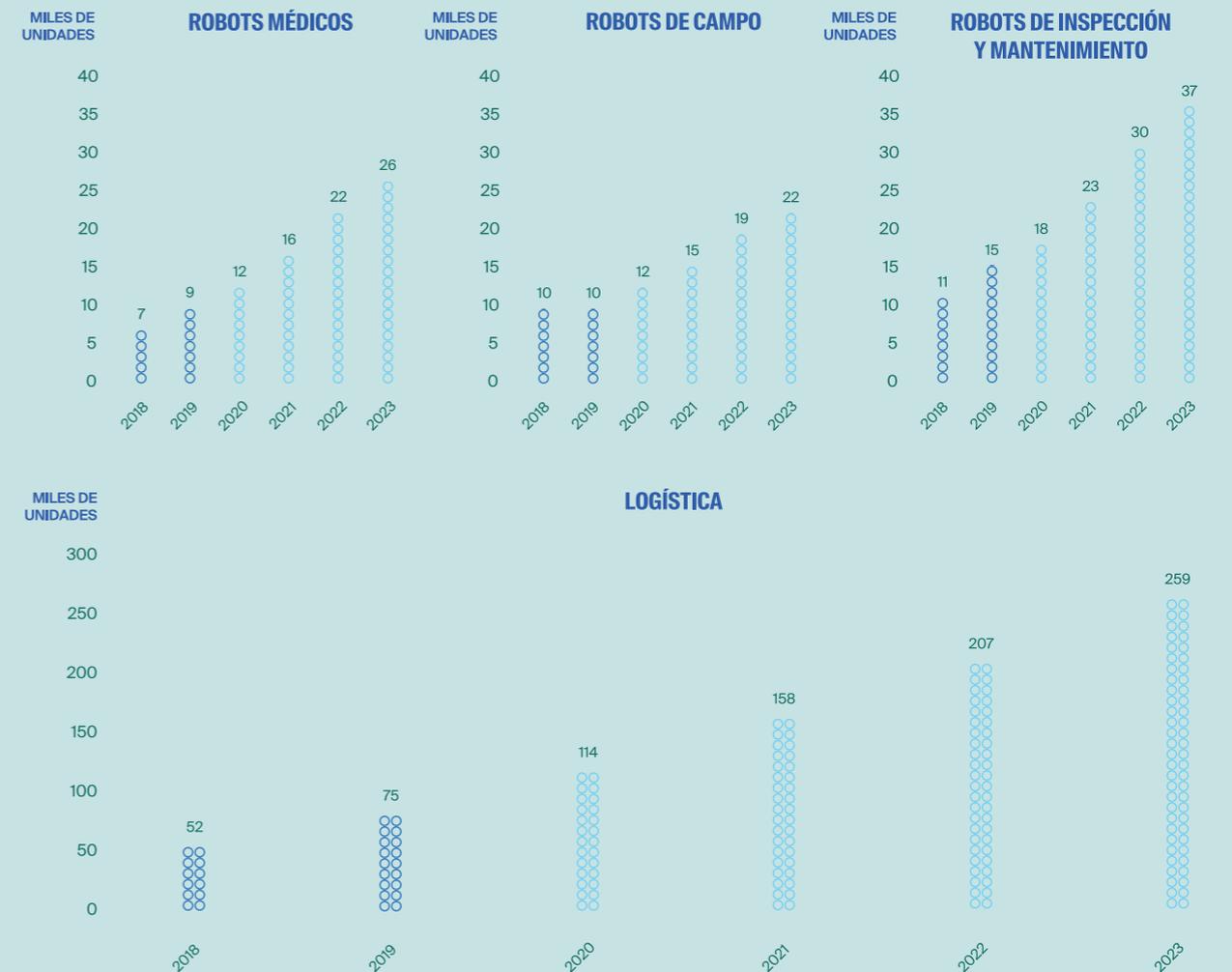
fibras y tejidos que mimetizan los latidos del corazón y pueden reemplazar tejidos dañados<sup>10</sup>. Combinados con las tecnologías vestibles, los robots blandos también ofrecerán ventajas para la rehabilitación; con un peso mucho más ligero que las alternativas rígidas y una adaptación completa y personalizada, estos dispositivos asistirán a los pacientes sin suponer una carga de esfuerzo adicional. En este campo, uno de los avances más espectaculares son los Xenobots desarrollados en la Universidad de Harvard en 2021. Fabricados a partir de células vivas, estos robots blandos tienen la capacidad de autorrepararse y autorreplicarse. En realidad, estos robots no pueden generar su propia progenie, pero sí construir nuevas estructuras idénticas a partir de unidades básicas, lo que garantiza la supervivencia durante al menos cinco generaciones. Además, al estar hechos a partir de materiales biológicos, estos robots son completamente biodegradables. Las aplicaciones de estos Xenobots todavía están lejos, pero los investigadores que desarrollaron la tecnología defienden su potencial: dado que estos robots pueden recolectar y apilar materia orgánica sin aportes externos de energía, por lo que podrían utilizarse para eliminar contaminantes de ecosistemas como lagos, ríos y océanos. Quizá los robots blandos son la solución a la contaminación por microplásticos<sup>12</sup>.

Fuente: Federación Internacional de Robótica (IFR) y World Robotics Report

FIGURA 3.

**EL CRECIMIENTO DE LAS VENTAS.** SE PREVÉ QUE LAS VENTAS DE ROBOTS CREZCAN CASI EXPONENCIALMENTE EN LOS PRÓXIMOS AÑOS, EN CASI TODOS LOS ÁMBITOS DE APLICACIÓN. UNO DE LOS CAMPOS CON MÁS POTENCIAL ES LA LOGÍSTICA, DONDE LOS ROBOTS PERMITIRÁN EL DESARROLLO DE NUEVOS PROCESOS MÁS EFICIENTES Y SEGUROS.

**COMPRAS Y PRINCIPALES APLICACIONES DE ROBOTS PARA USOS PROFESIONALES ENTRE 2018 Y 2023 (PREDICIONES)**





## Retos y Oportunidades

**Existe una brecha entre simulación y realidad, pero el control descentralizado augura ventajas de escalabilidad y solidez**

Agencias espaciales como la NASA y la ESA han comenzado a mostrar interés en las tecnologías de enjambre, con actividades como el concurso Swarmathon y con investigaciones como la Demostración Edison de Smallsat Networks, que utiliza un enfoque distribuido para reducir drásticamente el coste de despliegue de satélites, sin sacrificar la funcionalidad. En la robótica de enjambres, el uso exclusivo del control descentralizado que se basa en la comunicación y la información locales proporciona ventajas clave: en primer lugar, la escalabilidad y, en segundo lugar, la solidez<sup>13</sup>. Pero el gran desafío que presentan las aplicaciones espaciales es la autonomía del sistema de enjambre, que no puede depender de una intervención constante de operadores humanos. En el sector del entretenimiento ya hay ejemplos de espectáculos de luces de enjambres con drones en exteriores e interiores, pero generalmente se basan también en trayectorias centralizadas y orquestadas previamente. Se trabaja por ello en nuevas vías de enfoque descentralizado, que permitan a los usuarios participar activamente interactuando con el enjambre de robots, cambiando su dinámica según las posiciones, los movimientos e incluso las emociones. Junto a ello, los enjambres de nanobots podrían convertirse en el futuro en una herramienta nueva y poderosa en la medicina de precisión, permitiendo intervenciones específicas dentro del cuerpo humano, como la cirugía mínimamente invasiva o la administración de politerapia directamente a las células cancerosas<sup>14</sup>.

Entre los proyectos más prometedores en este ámbito de la robótica destaca Marsbee, financiado por la NASA, que tiene como objetivo enviar un enjambre de abejas robóticas a Marte; el proyecto Fiberbots, en el que los robots trabajan en paralelo para formar formas tubulares; el proyecto europeo Robo Earth, en cuya gestación participó la Universidad de Zaragoza, que ayuda a los robots a compartir conocimientos en todo el mundo a través de una base de datos online; y una vía interesante a seguir, abierta por el Instituto Max Plank, que ha desarrollado un milirobot compuesto por millones de robots, que pueden caminar, gatear, rodar, nadar y transportar objetos con la ayuda de micropartículas magnéticas incrustadas en su cuerpo de goma de silicona. En otro orden de magnitud, el kilobot, un robot de enjambre de bajo coste de 3,3 cm desarrollado en la Universidad de Harvard, se está convirtiendo en un estándar de facto, aunque sus capacidades están severamente limitadas, tanto que se han propuesto entornos de virtualización para aumentar las posibilidades de investigación<sup>15</sup>.

**Cobots.**

Uno de los problemas en el desarrollo de la robótica es el conocido como la brecha entre la simulación y la realidad, según el cual las diferencias entre los modelos utilizados en ambos casos provocan una caída del rendimiento cuando los controladores de robots desarrollados en la simulación se utilizan en el mundo real. Por eso la investigación sobre enjambres de robots actualmente se centra en la tecnología drone y en ámbitos muy específicos en los que pueden ayudar a los humanos. La Iniciativa Nacional de Robótica de los Estados Unidos (NRI) 2.0 se enfoca en la integración de cobots en tareas humanas para aprovechar que un aumento del 10% en robots por 1.000 trabajadores se asocia con una reducción de aproximadamente el 10% en la proporción de individuos de baja cualificación con problemas de salud, gracias a su reasignación a tareas de menor riesgo<sup>16</sup>. El impacto de esta tecnología es radical: robots de pintura utilizados por Boeing reducen el tiempo que le llevó a un equipo pintar el ala de un Boeing 777 de 4,5 horas a 24 minutos<sup>17</sup>.

Las inspiraciones biológicas, incluidas las características sociales de insectos y animales como parte del diseño de sistemas de robots múltiples, ofrecen grandes oportunidades, en este sentido, para los desarrollos del pujante loRT (Internet of Robotic Things). Amazon Web Service RoboMaker es un ejemplo de una plataforma de loRT que proporciona las funciones y los microservicios para el procesamiento de datos, el almacenamiento, la orquestación y las operaciones de flotas de dispositivos loRT (como los robots móviles autónomos y los vehículos terrestres autónomos), utilizados para la logística comercial, la limpieza y la entrega al consumidor. Otros ejemplos de empresas que están proporcionando plataformas comerciales para gestionar flotas de robots son Format, Freedom Robotics, InOrbit, Roco, KUKA, OTTO Material Movement Platform, BrainOS, TIAGo Base. En todos los casos plantean soluciones centralizadas basadas en la nube para construir, probar, implementar y automatizar las operaciones de flotas de robots .

Fuente: How to Robot

**FIGURA 4.**

**LOS ROBOTS EN ESPAÑA.** LAS EMPRESAS QUE SUMINISTRAN ROBOTS PARA SISTEMAS AUTOMÁTICOS EN ESPAÑA ESTÁN CONCENTRADAS, SOBRE TODO, EN CATALUÑA, SEGUIDA DE LA COMUNIDAD DE MADRID Y EL PAÍS VASCO. ES IMPORTANTE QUE EL RESTO DE REGIONES FOMENTEN LAS INVERSIONES EN ROBÓTICA, PARA MANTENER EL LIDERAZGO ACTUAL, QUE SITÚA A ESPAÑA COMO CUARTA POTENCIA EUROPEA EN INSTALACIONES ROBÓTICAS Y MÁQUINAS OPERATIVAS.

**CONCENTRACIÓN DE PROVEEDORES DE AUTOMATIZACIÓN DE ROBOTS EN ESPAÑA**





## El potencial de España

### España ocupa el cuarto lugar de Europa en instala- ciones robóticas y existen- cias operativas de robots

El 60% de las empresas de automatización en España tienen entre 10 y 49 empleados y no hay ninguna con más de 5.000. La mayoría se especializan en manipulación de materiales, seguidas de aplicaciones como paletizado/despaletizado, etiquetado, marcado, limpieza o desinfección. La principal industria cliente para las empresas de automatización es el automóvil, seguida por la industria de alimentos y bebidas y la farmacéutica<sup>19</sup>. Nuestro país ocupa el cuarto lugar de Europa, detrás de Francia, Italia y Alemania, en instalaciones de robots y existencias operativas de robots, que alcanzaron un total de 38.007 unidades en 2020. Aunque España se vio gravemente afectada por la pandemia de la COVID-19 en 2020, según la Asociación Española de Robótica y Automatización (AER), la demanda de robots creció con fuerza en un intervalo de entre el 15 % y el 20% respecto al año anterior en la primera mitad de 2021<sup>20</sup>.

Entre las iniciativas empresariales más interesantes en las tecnologías de vanguardia, destaca la que comercializa DroneStorm para el despliegue de enjambres de drones, amparándose en la nueva normativa europea que contempla ya el vuelo autónomo y en enjambre. Su objetivo son los usuarios finales y los organismos que necesiten cubrir alguna necesidad operativa eficientemente mediante una solución de este tipo<sup>21</sup>. SESAR, el pilar de la tecnología Digital Single Sky de la Unión Europea, estima que 400.000 drones comerciales y gubernamentales volarán sobre el espacio aéreo europeo en 2035, de modo que existe una posibilidad de desarrollo enorme por esa vía de innovación<sup>22</sup>. Empresas como la madrileña UAV Navigation han

desarrollado sistemas de control de vuelo con clientes en todo el mundo.

### Hasta 400.000 drones comerciales y gubernamentales volarán sobre el espacio aéreo europeo en 2035

El Robotics Lab de la Universidad Carlos III de Madrid es uno de los más activos de nuestro país en el ámbito de la robótica blanda, al igual que el Institut de Bioenginyeria de Catalunya (IBEC). Ambos organismos han logrado un avance de gran relevancia en el campo de los biobots aplicando bioimpresión 3D e ingeniería, hasta desarrollar dispositivos de poco más de un centímetro de longitud, que pueden nadar y desplazarse a velocidades sin precedentes. La clave ha consistido en utilizar la contracción espontánea de materiales basados en células musculares junto a un esqueleto innovador y flexible<sup>23</sup>.

En el ámbito de la robótica de servicios, la sevillana Macco Robotics es partner oficial de Boston Dynamics a nivel mundial para el desarrollo de aplicaciones de sus robots para el sector alimentación y bebidas. Macco creó una primera versión de su robot camarero en 2013, que actualizó seis años después, y cuenta también con desarrollos en reparto y desinfección, así como una solución que permite hacer el check-in y el check-out en hoteles. El robot Tico de la asturiana Adele es capaz de mantener conversaciones en tiendas y hacer tareas de compañía y asistencia a personas solitarias; y Wall-B de la catalana Sadako usa una solución de inteligencia artificial para separar residuos de plásticos, latas o briks.



## Aplicación e impacto

### Los robots para servicios profesionales, como limpieza y transporte de mercancías, se suman al auge de la robótica médica

El mercado de robots de servicios profesionales, uno de los principales destinatarios de estas innovaciones, creció en 2020 un 12% y alcanzó los 6.700 millones de dólares. La pandemia global creó nuevas oportunidades y una demanda adicional para algunas aplicaciones, como la limpieza profesional, aunque uno de cada tres robots de servicios profesionales vendidos en 2020 siguió destinándose al transporte de mercancías. El 47% de los proveedores de robots de servicio se encuentran en Europa, el 27% en Norteamérica y el 25% en Asia. A nivel mundial, el 82% del sector son pequeñas o medianas empresas con hasta 500 empleados<sup>24</sup>.

La Federación Internacional de Robótica (IFR) predice un fuerte crecimiento del 40% anual en las ventas de unidades de robots móviles de orientación, información y telepresencia entre 2020 y 2023 en una variedad de sectores industriales. Sin embargo, el IFR cree que es probable que las tasas de adopción en el sector de la salud sean algo más bajas, debido a las limitaciones presupuestarias del sector y también a la estricta regulación que rige la atención y la privacidad de los datos de los pacientes y ciudadanos vulnerables, como los ancianos. Se prevé que las ventas de robots médicos alcancen las 19.700 unidades en 2022, cuatro veces más que en 2018, y al menos 66 robots sociales diferentes se introdujeron en todo el mundo a raíz de la pandemia del Covid-19. En cambio, la factu-

ración de la robótica médica está impulsada principalmente por los dispositivos de cirugía robótica, que son el tipo de robot de servicio más caro, mientras que los desarrollos vinculados a la nanotecnología y la robótica blanda son todavía muy minoritarios. En una encuesta internacional a 12.000 personas encargada por la consultora PricewaterhouseCoopers (PwC), la mayoría de los sondeados en países como Turquía, Nigeria y Sudáfrica estaban dispuestos a adoptar la IA y los robots como parte de su atención médica e incluso de la cirugía, sin embargo las cifras fueron más bajas en otros como el Reino Unido<sup>25</sup>. Y debe considerarse que las enfermeras dedican una cantidad significativa de tiempo a buscar y transportar medicamentos, ropa de cama y desechos: caminan al menos 6,4 km al día, de modo que un hospital de 800 camas puede mover hasta 27 toneladas de materiales al día y sus empleados cubrir una distancia de unos 800 km<sup>26</sup>.

### El mercado de robots de servicios profesionales creció un 12% en 2020

El Gobierno de Reino Unido cree, por eso, que la aplicación de Sistemas Robóticos Autónomos (RAS) podría conducir a grandes mejoras en la atención a los pacientes, como una mayor precisión en el diagnóstico y en las intervenciones quirúrgicas. Al menos 4,2 millones de personas en todo el mundo mueren dentro de los 30 días posteriores a la cirugía cada año, más que por el VIH, la malaria y la tuberculosis juntas (2,97 millones de muertes). En el sector de la salud y la atención social se estima que se podría automatizar el 21% de las tareas en 2035, lo que podría traducirse en casi 35.000 millones libras de valor agregado bruto (VAB). Sin embargo, a tenor de las tendencias actuales, se espera que la automatización apenas alcance el 1% debido a diversas barreras: el alto coste continuo de los RAS; las patentes restrictivas; las dificultades con la interoperabilidad con los sistemas nacionales de salud (NHS) existentes; la falta de confianza en dichos sistemas; y desafíos éticos y legales, incluida la falta de reglas de responsabilidad claras y establecidas<sup>27</sup>.

El rápido envejecimiento de la población en los países de la OCDE ha estimulado el interés en los robots como complemento de la tarea del cuidador. Solo en Estados Unidos se podrían necesitar 2,5 millones de trabajadores adicionales en este campo 2030 y, con la población más envejecida del mundo, Japón es el líder mundial en robótica para el cuidado de ancianos. Un inconveniente de esos robots es su alto coste, por lo que se está avanzando en diseños más simples con los que el usuario pueda interactuar más fácilmente. El Ministerio de Economía de Japón estima que el mercado interno para los robots de asistencia crecerá a 3.800 millones de dólares en 2035 y, de hecho, subvenciona la compra de robots para hogares de ancianos desde 2015. Entre otros proyectos, la Agencia japonesa para la Investigación y el Desarrollo Médico (AMRD) está desarrollando exoesqueletos para ayudar a las enfermeras a levantar a los pacientes (por ejemplo, dentro y fuera de los baños) junto con robots para ayudar a los ancianos a usar los inodoros sin ayuda y disfrutar de una mayor movilidad interior y exterior. Por su parte, el Plan Nacional de Desarrollo de China para la Robótica (2016-20) ya incluía el objetivo de desarrollar un sector de robots industriales domésticos capaz del abastecer, al menos, al 45% del mercado nacional. Se preparó una hoja de ruta nacional de robótica después de la publicación de Made in China 2025 que identificó tecnologías y componentes clave para robots industriales y de servicios, junto con las iniciativas para la estandarización, la evaluación de la calidad y la certificación. En 2016, China ya anunció un esquema de certificación de robots y emitió los primeros certificados.

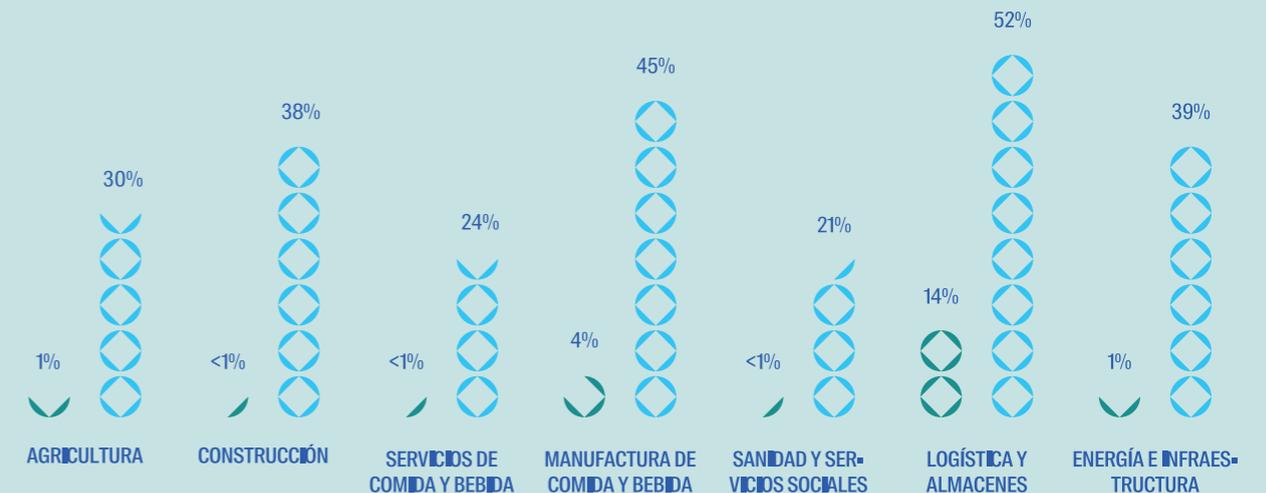
Uno de los desafíos tecnológicos para la robótica en general, y para la robótica blanda en particular, en ámbitos como la salud, el industrial y el de servicios es la capacidad de manipular objetos deformables. Se requiere innovación en nuevos desarrollos en hardware, detección, modelado, planificación y control como demuestra el hecho de que una empresa de plegado de ropa con sede en Tokio se declarara en quiebra en 2019, tras cuatro años intentando hacer rentable su prototipo. En entornos agrícolas, la recolección automatizada de frutas y verduras precisa igualmente interacciones con objetos deformables que al mismo tiempo son fáciles de dañar, lo que disminuye inmediatamente su valor y vida útil, y que también se someten con frecuencia a un procesamiento intermedio antes de ser envasados<sup>28</sup>.

Fuente: London Economics / PwC

FIGURA 5.

**POTENCIAL DE LA ROBOTIZACIÓN EN DISTINTOS SECTORES.** EN ESTE GRÁFICO, LA CONSULTORA PWC PREDICE CÓMO LA AUTOMATIZACIÓN CAMBIARÁ DIFERENTES SECTORES ECONÓMICOS. EN SERVICIOS, LA PRESENCIA DE ROBOTS PODRÍA AUTOMATIZAR HASTA UN 25% DE LAS FUNCIONES, MIENTRAS QUE EN OTROS SECTORES, COMO LA MANUFACTURA DE ALIMENTOS Y LA LOGÍSTICA, LOS ROBOTS PODRÍAN LLEGAR A REALIZAR CASI EL 50% DEL TRABAJO EN 2035. LA INTERVENCIÓN HUMANA, SIN EMBARGO, SEGUIRÍA SIENDO NECESARIA.

-  REDUCCIÓN EN LA MANO DE OBRA ESTIMADA, EN 2035, SEGÚN TENDENCIAS ACTUALES
-  PROPORCIÓN POTENCIAL DE ROBOTIZACIÓN Y AUTOMATIZACIÓN, EN 2035, SEGÚN TENDENCIAS ACTUALES



### *Robótica de bajo coste.*

Junto a ello, dos tendencias clave en el sector son el desarrollo interfaces de usuario que permitan una programación sencilla basada en iconos y el guiado manual de los robots, por lo que las empresas de robots y algunos proveedores externos están agrupando paquetes de hardware y software para facilitar la implementación; y la robótica de bajo coste, basada en programas estándar combinados con pinzas, sensores y controladores<sup>29</sup>, de hecho ya se puede hablar de una caída de más del 50% en los costes medios de la robótica desde 1990<sup>30</sup>. Europa está muy interesada también en combinar materiales inteligentes con robótica e IA para reparar piezas robóticas, ya que estas piezas de recambio del mercado de accesorios para robótica representan 400.000 millones de dólares al año, equivalente a todo el PIB de Bélgica. Los materiales de autorreparación tienen la capacidad de recuperar sus propiedades clave después del daño a través de un mecanismo basado en una variedad de principios químicos y físicos en cuyo desarrollo la Comisión quiere ejercer el liderazgo mundial<sup>31</sup>.

Otro de los retos es el escenario que plantea un Google World, en el que los avances revolucionarios en inteligencia artificial, destreza física y conectividad dan como resultado una avalancha de módulos de robots inteligentes que manejan situaciones complejas y dinámicas, aunque a un precio mucho más alto que los robots estandarizados debido a su flexibilidad tecnológica. Es probable que el área de mayor crecimiento en este ámbito esté en los robots de servicios profesionales, incluidos los equipos autónomos. En el Google World robótico, el software será el factor clave del éxito, y las empresas de robótica tradicionales corren el peligro de convertirse en proveedores secundarios<sup>32</sup>.

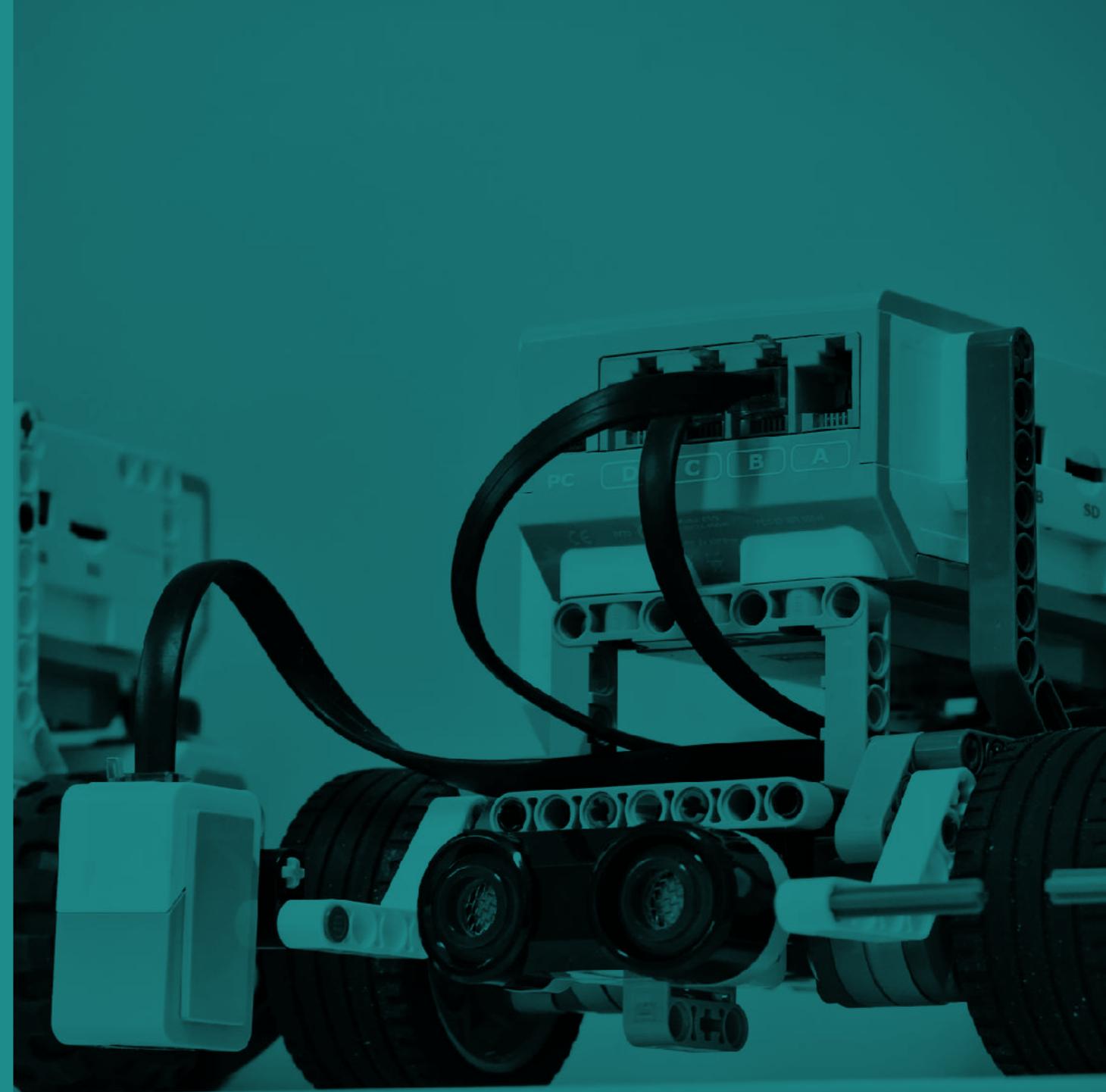
Desde el punto de vista regulatorio, por último, las iniciativas europeas sobre Inteligencia Artificial y Seguridad de las Máquinas podrían tener graves consecuencias sobre el futuro de la innovación de las startup de base tecnológica. Según estas propuestas, la maquinaria debe recibir una certificación de terceros antes de su despliegue y, si bien las grandes empresas tienen los recursos y el tiempo para respaldar múltiples visitas de un equipo de certificación, las empresas nuevas y las pymes no pueden permitirse horizontes tan prolongados. Además, la industria podría verse obligada a esperar la certificación cada vez que reconfiguren o reimplementen sus máquinas<sup>33</sup>.

En última instancia, la mayoría de los fabricantes industriales en todo el mundo son pymes, que suelen trabajar con series pequeñas y máquinas operadas manualmente. Si bien muchas desean automatizarse, es difícil hacerlo de manera rentable cuando los volúmenes y los tipos de productos cambian con frecuencia y los robots están fijos y deben ser reprogramados repetidamente. De ahí que las tasas de automatización sean extremadamente bajas entre las pymes en la fabricación, quizás menos del 1% (o alrededor de 10 robots por 10.000 empleados) frente a los 1.100 a 1.400 robots por 10.000 empleados en el automóvil.



## Conclusiones

Los robots acelerarán la industria 4.0. Además, como llevarán a cabo trabajos y tareas tediosas y peligrosas, se espera que puedan aumentar la seguridad laboral y liberar nuestra creatividad. El crecimiento de los mercados parece apoyar una transición hacia una industria cada vez más digitalizada y robotizada. Los últimos avances en robots enjambre y los robots blandos permiten avanzar este campo hacia nuevos niveles, gracias a la capacidad de comunicarse y coordinarse para llevar a cabo tareas complejas, trabajando en equipo, y a las interacciones similares al comportamiento humano. En España, la demanda de robots creció con fuerza en 2021. Ahora, toca estar preparados para las próximas etapas de esta tecnología.



1. P. Ruiz Guevara. **“Humanoides, cuadrúpedos, voladores: una historia actual de robots”**. MIT Technology Review, 18 de marzo de 2022. Consultado el 20 de marzo de 2022.
2. J. Penalva. **“Este robot desactiva bombas con una mano que controla y “siente” el operador responsable”**. Xataka, 26 de diciembre de 2018. Consultado el 20 de marzo de 2022.
3. Intel (n.d.). **“AI Integrated Service Solution; Smart Disinfection Solution”**. Consultado el 20 de marzo de 2022.
4. Intel (n.d.). **“Robotics in Healthcare to Improve Patient Outcomes”**. Consultado el 20 de marzo de 2022.
5. PwC (n.d.). **“No longer science fiction, AI and robotics are transforming healthcare”**. Consultado el 20 de marzo de 2022.
6. M. Davids. **“A Glimpse into the Future of Industrial Robotics”**. Robotiq, 27 de julio de 2021. Consultado el 20 de marzo de 2022.
7. ITIF (2019). **“Robotics and the Future of Production and Work”**. Consultado el 20 de marzo de 2022.
8. I. Navarro y F. Matía. International Scholarly Research Notices, 2013, 608164, DOI: 10.5402/2013/608164.
9. Wyss Institute (n.d.). **“Programmable Robot Swarms”**. Consultado el 20 de marzo de 2022.
10. W. Sire y G. Velvé Casquillas. **“Soft Robot: A Review”**. Microfluidic reviews, 14 de junio de 2017. Consultado el 20 de marzo de 2022.
11. Next (2019). **“El primer exoesqueleto blando que ayuda a caminar y correr”**. Consultado el 20 de marzo de 2022.
12. S. Kriegman. **“We Created Living Robots That Self-Replicate”**. Newsweek, 9 de enero de 2022. Consultado el 20 de marzo de 2022.
13. M.K.Heinrich et al. Information Technology, 2019, DOI: 10.1515/itit-2019-0003.
14. M. Dorigo, et al. Proceedings of the IEEE, 2021, DOI : 10.1109/JPROC.2021.3072740.
15. A.R. Cheraghi, et al. **“Past, Present, and Future of Swarm Robotics”**, Cornell University, 3 de enero de 2021, consultado el 18 de marzo de 2022.
16. A. Nolan. OECD Science, Technology and Industry Policy Papers, 2021, 117. DOI: 10.1787/5ea15d01-en.
17. T. DeStefano, et al. OECD Science, Technology and Industry Working Papers, 2019, 7, DOI: 10.1787/0176c74c-en.
- 18 O. Vermesan, et al. Front. Robot. AI 2020, 7, 104, DOI: 10.3389/frobt.2020.00104.
19. Gain & Co (2021). **“Market Analysis of Automation Firms”**. Consultado el 29 de marzo de 2022.
20. International Federation of Robotics (2021). **“World Robotics 2021 Industrial Robots”**. Consultado el 29 de marzo de 2022.
21. Soticol (2021). **“DroneStorm, nuevo producto tecnológico en el mercado para el despliegue de enjambres de drones”**. Consultado el 29 de marzo de 2022.
22. Luis Moreno Lorente: **“¿Cómo controlaremos los 400 000 drones que volarán sobre nuestras cabezas en 2035?”**. The Conversation, 7 de febrero de 2022. Consultado el 29 de marzo de 2022.
23. IBEC (2021). **“Arriba una nova generació de robots vius”**. Consultado el 29 de marzo de 2022.
24. International Federation of Robotics (2021). **“World Robotics 2021 Service Robots”**. Consultado el 29 de marzo de 2022.
25. PwC (2018). **“Will robots really steal our jobs?”**. Consultado el 29 de marzo de 2022.
26. International Federation of Robotics (2021). **“Robots in Daily Life – the positive impact of robots on wellbeing”**. Consultado el 29 de marzo de 2022.
27. Department for Business, Energy & Industrial Strategy of the United Kingdom (2021). **“The Economic impact of robotics & autonomous systems across UK sectors”**. Consultado el 21 de marzo de 2022.
- 28 J. Zhu, et al. **“Challenges and Outlook in Robotic Manipulation of Deformable Objects”**. IEEE Robotics and Automation Magazine, 2022, DOI: 10.48550/arXiv.2105.01767
29. International Federation of Robotics (2022). **“Robots with new features capture new areas: IFR's top robot trends 2022”**. Consultado el 29 de marzo de 2022.
30. McKinsey & Co (2019). **“Industrial robotics – insights into the sector’s future growth Dynamics”**, Consultado el 29 de marzo de 2022.
31. Proyecto SHERO (n.d). **Self-HEaling soft RObotics**. Consultado el 29 de marzo de 2022.
32. R. Lässig et al. **“Robotics Outlook 2030: How Intelligence and Mobility Will Shape the Future”**, Boston Consulting Group, 28 de junio de 2021. Consultado el 29 de marzo de 2022.
33. E.H. Østergaard, **“How to Kill Europe’s Robot Industry”**, CEPA, 14 de enero de 2022. Consultado el 29 de marzo de 2022.

# 10.

## El turismo de las cosas

Internet de las cosas, inteligencia artificial, "big data", realidad virtual y aumentada para ofrecer al turista experiencias personalizadas y más enriquecedoras

/ Disfrutar a distancia y contenidos más interactivos y ampliados  
/ Turismo más sostenible, experiencial y personalizado  
/ Mejora de los precios y de la adaptación a nuevas tendencias



/ Realidad aumentada  
/ Integración de realidad con smartphones y dispositivos digitales  
/ Mejora conexión del turismo con otros sectores productivos



## En clave

Las experiencias turísticas están cambiando. Gracias a avances como la realidad virtual, la realidad aumentada y el internet de las cosas, dentro de poco viviremos los viajes y las escapadas de forma totalmente diferente. Estas tecnologías, además de aumentar las posibilidades para disfrutar a distancia, también abren nuevas puertas para acceder a contenido más interactivo, personalizado y ampliado, mediante la integración de la realidad con nuestros teléfonos inteligentes y otros dispositivos digitales.



## La tecnología

**Internet de las cosas, inteligencia artificial, big data, realidad virtual y aumentada para ofrecer al turista experiencias personalizadas y más enriquecedoras**

El turismo de las cosas combina varias tecnologías diferentes. En general, consiste en integrar los últimos avances digitales en las experiencias turísticas, para mejorar nuestros viajes desde el momento de empezar a planearlas y prepararlas. Las tecnologías que, probablemente, transformarán el turismo en el futuro incluyen por supuesto la realidad virtual y la realidad aumentada, pero también las redes neuronales, el aprendizaje automático y el internet de las cosas. Por ejemplo, los hoteles podrían ir más allá de incluir el nombre del cliente en una pantalla, y utilizar datos de estancias pasadas para preparar las habitaciones con verdaderos detalles personalizados: la temperatura perfecta, la música de fondo, las series y películas preseleccionadas, incluso una carta del servicio de habitaciones exclusiva para cada visita. Además de ello, la conexión de las experiencias turísticas con las herramientas digitales más avanzadas también permitirá un funcionamiento continuo, focalizado en el ahorro de tiempo y la reducción de interrupciones. Este nuevo modelo de negocio, parecido a los escenarios de compra digital que empezaron a proliferar durante la pandemia de COVID-19, será clave para atraer a las nuevas generaciones, constantemente conectadas<sup>1</sup>.

Aunque, a priori, podría parecer que los usuarios valoran la privacidad y la protección de datos, en realidad

un 83% de los consumidores aprecian recibir recomendaciones personalizadas, basadas en el conocimiento generado por los sistemas artificiales y los algoritmos a lo largo del tiempo. Gracias a la información guardada en nuestros teléfonos inteligentes y nuestras cuentas digitales en la nube, los servicios turísticos pronto ofrecerán sugerencias específicas para cada cliente. Estas recomendaciones mejorarán gracias al internet de las cosas, una tecnología que interconectará nuestros dispositivos con cientos de sensores, etiquetas digitales, servicios y mucho más. Por ejemplo, cuando los diferentes sensores meteorológicos detecten lluvia, podrán enviar señales a las aplicaciones de planificación turística para priorizar actividades en interiores, como visitas a museos. Grandes aerolíneas como AirFrance y KLM están explorando las posibilidades de esta nueva tecnología para transformar la experiencia de usuario durante sus viajes; la digitalización de los servicios, además, aumenta la percepción de seguridad entre los viajeros, un factor clave para la recuperación económica tras la pandemia de COVID-19. En 2020 el mercado del internet de las cosas generó 620.000 millones de dólares, y los expertos anticipan un crecimiento anual del 10% durante los próximos cinco años<sup>2</sup>.

El turismo de las cosas también es una solución sostenible y más segura. Gracias a la interconectividad de los dispositivos y los sistemas de inteligencia artificial, podrán tomarse decisiones más rápidas que mejoren la productividad. Por ejemplo, del mismo modo que Google Maps comparte información sobre el tráfico, las nuevas soluciones digitales para el turismo incluirán información actualizada sobre los flujos de personas para evitar aglomeraciones. A través de dispositivos como las etiquetas RFID, podrán reducirse los tiempos de espera en aparcamientos, aeropuertos, hoteles y restaurantes, algo que, en general, beneficiará las experiencias turísticas. Estos nuevos sistemas podrían mejorar las relaciones con las comunidades locales, para facilitar la integración de los turistas y viajeros<sup>3</sup>.

Más allá del internet de las cosas y la conectividad de los dispositivos, muchas otras tecnologías digitales revolucionarán la experiencia de usuario durante los viajes. En primer lugar está el big data, las grandes colecciones de información sobre los viajeros que ofrecen ventajas tanto a niveles de personalización y exclusividad como de forma global, gracias a las mejoras en las tomas de decisiones para las empresas. Las

bases de datos han revolucionado el mundo de las ventas y el marketing, y permiten obtener resultados basados en evidencias científicas. De este modo, las empresas turísticas podrán adaptar sus precios en función de las tendencias de viajes reales, optimizar las ventas en épocas de escasa demanda y, además, identificar oportunidades de negocio.

### *Las empresas turísticas podrán adaptar sus precios según las tendencias de viajes reales, optimizar ventas e identificar oportunidades de negocio*

La segmentación y la personalización son dos aspectos muy atractivos de esta tecnología, pero el big data también aporta beneficios a los usuarios. Los turistas tienen la oportunidad de tomar decisiones más informadas, basándose por ejemplo en los comentarios y las valoraciones de clientes anteriores, y obtener descuentos y ventajas exclusivas gracias a sistemas de recompensas y recomendaciones personalizadas<sup>4</sup>.

#### *Reconocimiento facial y registro automático.*

Como hemos comentado anteriormente, la inteligencia artificial también beneficiará al turismo del futuro, gracias a herramientas como el aprendizaje automático. Algunas de estas ventajas incluyen la mensajería personalizada, tanto en contenido como en formato, adaptada para cada cliente. Por ejemplo, los algoritmos podrán determinar si los usuarios prefieren recibir la información por teléfono, mensajes de texto, correo electrónico o notificaciones digitales, y personalizar el contenido para minimizar las distracciones. Los servicios turísticos también adoptarán sistemas de reconocimiento facial que, hoy en día, se utilizan casi exclusivamente en controles de seguridad y aduanas. Así, los turistas podrán abrir y cerrar una cuenta en un hotel en cuestión de minutos, sin pasar por recepción. El 56% de los turistas de la generación Z (nacidos entre finales de los 90 y principios de los 2000) valoran la reducción de interacciones personales y los servicios automáticos para ahorrar tiempo, como el registro sin intermediarios. Y los primeros resultados en estudios piloto de compañías punteras como Marriot son prometedores: el reconocimiento facial permite reducir el tiempo de la facturación a apenas tres minutos<sup>5</sup>.

Fuente: Ubikua.com

FIGURA 1.

**EL TURISMO Y LA TECNOLOGÍA.** LA TECNOLOGÍA PUEDE REVOLUCIONAR EL MUNDO DEL TURISMO, UNO DE LOS MOTORES ECONÓMICOS DE NUESTRO PAÍS. GRACIAS A AVANCES COMO APLICACIONES, SENSORES, ETIQUETAS INTELIGENTES, REALIDAD AUMENTADA E INTELIGENCIA ARTIFICIAL, PODRÍAN DESARROLLARSE NUEVAS EXPERIENCIAS DE OCIO, PARA VIVIR NUESTRAS ESCAPADAS DE FORMA DIFERENTE.

## GEOLOCALIZACIÓN Y TURISMO



**HOTELES**  
Hotels y alojamiento  
Google maps  
Gehotel  
Virtual tours



**TURISMO GASTRONÓMICO**  
Gastronomía local  
y restauración



**TURISMO ENOLÓGICO**  
Vinos y bodegas

## REALIDAD AUMENTADA Y APPS



### HOTELES INTELIGENTES

Visualizar sobre el paisaje los hoteles más cercanos según tipo o categoría, ver ofertas, videos promocionales y visitas virtuales, participar en encuestas y promociones, compartir experiencias, fidelización al cliente



### MENÚS INTELIGENTES

Al apuntar el dispositivo al menú se amplia la información con detalles sobre recetas, recomendaciones, videos de elaboración, platos tradicionales



### ETIQUETAS INTELIGENTES

Etiquetas interactivas con explicaciones sobre la cosecha o el origen del caldo elegido

## SENSORES Y APPS



CHECK IN VIA NFC



DETECTORES DE PRESENCIA



TICKETS MOVILES



PAGO VIA NFC



OFERTAS Y MOBILE-MARKETING



DM-TARJETAS DE FIDELIZACIÓN



CONTROL DE HUMEDAD CONTROL DE COSECHAS SENSORES DE ACIDEZ, PH, ETC.

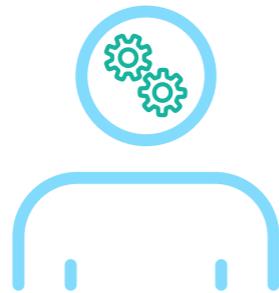
Los nuevos sistemas de realidad aumentada, así como la integración de las tecnologías del metaverso, también están transformando las formas de hacer turismo. Mediante la realidad aumentada, podemos complementar nuestra percepción del mundo real con información digital adicional. De este modo, podemos reconocer lugares de interés simplemente enfocando las calles con nuestro teléfono móvil, obtener información sobre restaurantes y transformar las audioguías de los museos para ofrecer experiencias totalmente revolucionarias. Por ejemplo, en 2021 el museo de historia natural de París utilizó una aplicación de realidad aumentada y dispositivos Microsoft HoloLens para revivir animales extintos y exponerlos en sus pasillos y jardines. Al mismo tiempo, varios museos de Londres como la National Gallery y la Royal Academy of Arts utilizaron la realidad aumentada para exponer sus obras en las calles de la ciudad. A través de una aplicación disponible para teléfonos móviles, los turistas podían escanear códigos QR y admirar obras de arte sin entrar en los museos que, debido a las restricciones de la pandemia, permanecían cerrados o con aforos muy limitados<sup>6</sup>. El Covid-19 también catapultó el desarrollo de diferentes soluciones de realidad virtual y turismo. Mientras la realidad aumentada utiliza recursos y objetos reales para superponer contenido digital, la realidad virtual sumerge al usuario completamente en un entorno creado por ordenador. Y, aunque los niveles de interactividad son menores, permiten a los usuarios viajes y experiencias desde la comodidad del sofá. En este sentido, la compañía First Airlines diseñó viajes virtuales que incluían un trayecto en primera clase y visitas 360° a los lugares más representativos de destinos como Hawái, Roma y París. Sin embargo, algunos analistas consideran que este tipo de experiencias tienen otras limitaciones: el precio, el confort de los dispositivos, la reducción de la experiencia de viaje a algo puramente visual. Más allá de los viajes digitales, las experiencias de realidad virtual pueden ofrecer otras ventajas, como permitir la comparación de destinos, hoteles y compañías aéreas antes de tomar una decisión. Una versión mejorada de los folletos promocionales que empresas como Travel World VR utiliza para vender sus viajes, creando una experiencia inmersiva única<sup>7</sup>. Por último, el turismo de las cosas también pasará por el análisis de nuevas plataformas y nuevos formatos para llegar a nuevos públicos. Entre las iniciativas más innovadoras, destacan la “Aventura en el Real”, organizada por el Teatro Real de Madrid y los creadores de contenido Jaime Altozano y Ter, diseñada para acercar la ópera



Fuente: River Publishers.

**FIGURA 2.**

**PERSONALIZACIÓN DE SERVICIOS PARA UN NUEVO “TURISMO DE LAS COSAS”.** UNA DE LAS CLAVES DEL TURISMO DEL FUTURO SERÁ LA PERSONALIZACIÓN DE LAS EXPERIENCIAS. PARA ELLO, SE DESARROLLAN AVANCES TENIENDO EN CUENTA DIFERENTES ASPECTOS, DESDE LA GESTIÓN DE DATOS (CONSIDERANDO, SIEMPRE, LA PRIVACIDAD DEL USUARIO) HASTA LA GEOLOCALIZACIÓN. LA CONECTIVIDAD Y LA VELOCIDAD DE NUESTROS DISPOSITIVOS ELECTRÓNICOS PERMITEN QUE TODOS ESTAS OPERACIONES TENGAN LUGAR SIN MOLESTAR AL USUARIO; AL CONTRARIO, PROPORCIONAN UNA NUEVA EXPERIENCIA DE OCIO.



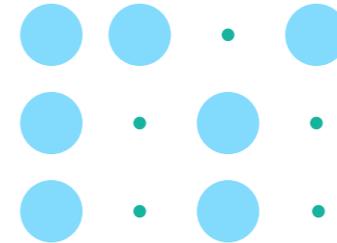
**COMPORTAMIENTO**

LAS CIUDADES SE ADAPTARÁN AL COMPORTAMIENTO DE LOS CIUDADANOS, TANTO RESIDENTES COMO VISITANTES



**PERSONALIZACIÓN**

LA PERSONALIZACIÓN DIGITAL A TRAVÉS DE LOS DATOS ES UNA REALIDAD, PERMITE APLICAR SERVICIOS PÚBLICOS Y NUEVOS MODELOS DE NEGOCIO DIGITALES PARA LA CIUDAD Y LOS CIUDADANOS.



**DATOS**

EL USO DE DATOS ES UNA NECESIDAD DEL SIGLO XXI. GESTIONAR LOS DATOS DE FORMA RESPONSABLE PUEDE GENERAR NUEVOS EMPLEOS Y PUEDE AYUDAR A GESTIONAR MEJOR EL PÚBLICO Y EL TURISMO.



**CONECTIVIDAD**

PARA IMPLEMENTAR NUEVOS SERVICIOS, NECESITAMOS QUE LOS DISPOSITIVOS Y LOS CIUDADANOS ESTÉN CONECTADOS PERMANENTEMENTE ENTRE SÍ.



**GEOLOCALIZACIÓN**

LA GEOLOCALIZACIÓN PERMITE OFRECER SERVICIOS PERSONALIZADOS SEGÚN LA POSICIÓN DEL TURISTA, RESPETANDO SU PRIVACIDAD.

y el turismo cultural a un público joven a través de YouTube, en colaboración con Google Arts and Culture<sup>8</sup>; y la colección del Museo del Prado dentro del videojuego “Animal Crossing”, con itinerarios virtuales a través de diferentes cuadros y exposiciones diseñados especialmente para las nuevas generaciones<sup>9</sup>.

La transformación digital del turismo cambiará nuestros viajes, en todas sus fases: desde la preparación, planificación y las reservas hasta la vuelta a casa. Ahora, una gran parte de la experiencia turística consiste en compartir información, fotografías, valoraciones, comentarios y mucho más en las redes. Y, al mismo tiempo, estos comentarios reorientarán la toma de decisiones de futuros viajeros. El 97% de los turistas nacidos después de 1981 comparten contenido digital sobre sus vacaciones en redes y más de un 74% utilizan estas mismas redes para informarse durante los viajes. El futuro del turismo es digital<sup>10</sup>.

*El 97% de los turistas nacidos después de 1981 comparten contenido digital sobre sus vacaciones en redes y más de un 74% las utilizan para informarse durante los viajes*

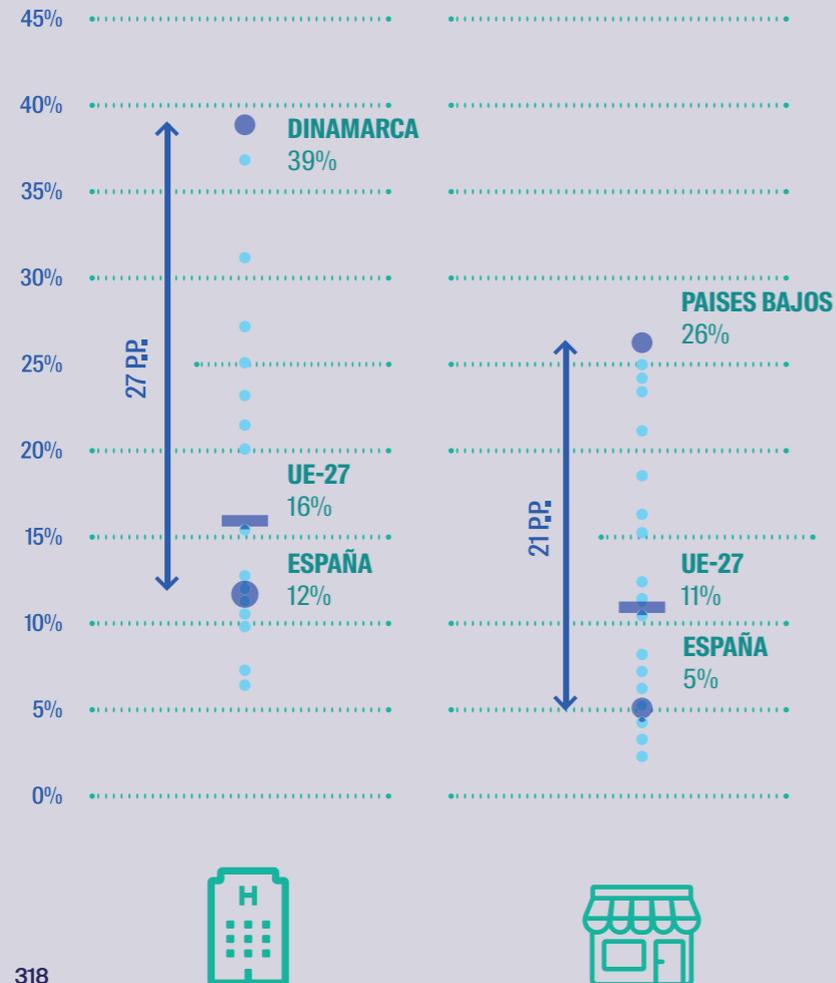


Fuente: Caixabank y Eurostat

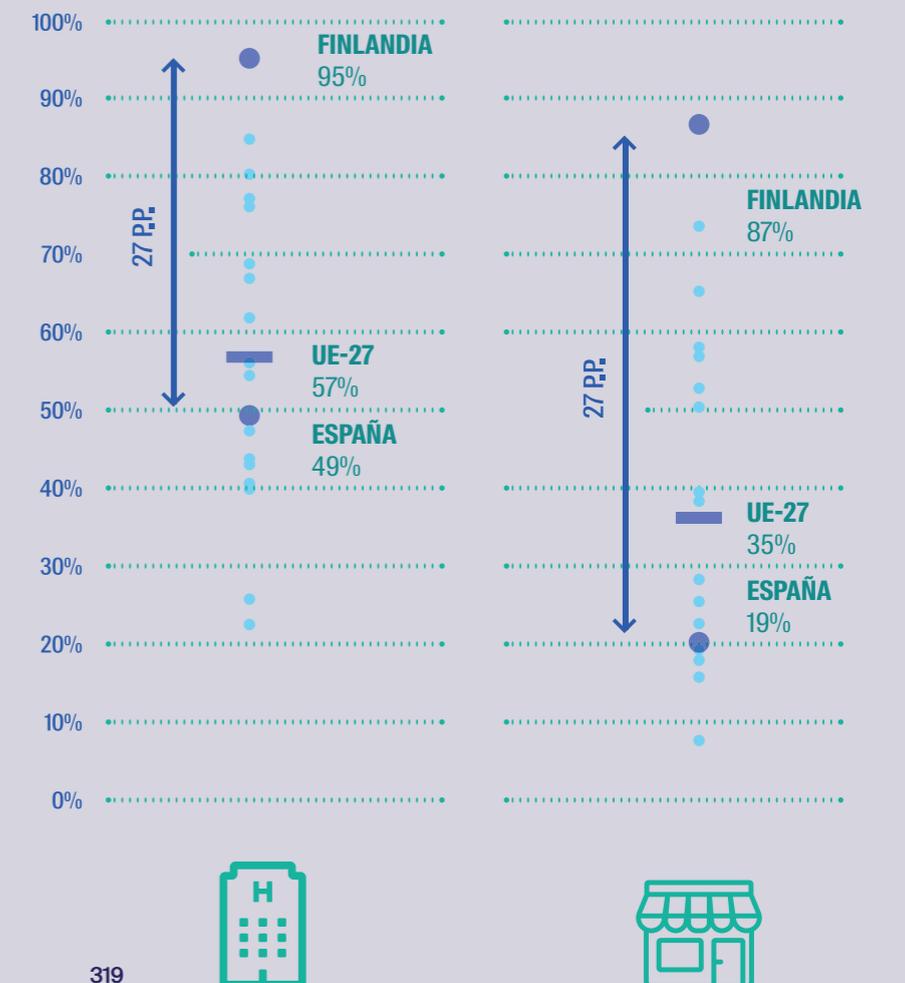
FIGURA 3.

**LA DIGITALIZACIÓN DEL TURISMO ESPAÑOL.** AUNQUE ESPAÑA ES UNO DE LOS LÍDERES DEL SECTOR TURÍSTICO EUROPEO, LA INVERSIÓN EN NUEVAS TECNOLOGÍAS TODAVÍA ESTÁ POR DEBAJO DE LA MEDIA DE LOS EU-27. LAS CIFRAS SON TODAVÍA MÁS ESCALOFRIANTES CUANDO COMPARAMOS NUESTRA INVERSIÓN EN TECNOLOGÍAS DE NUBE Y BIG DATA CON LAS DE PAÍSES NÓRDICOS COMO DINAMARCA O FINLANDIA. POR ELLO, ES FUNDAMENTAL ADAPTARNOS AL MUNDO DIGITAL, PARA PODER OFRECER UN TURISMO DE LAS COSAS COMPETITIVO.

### UTILIZAN BIG DATA



### UTILIZAN COMPUTACIÓN EN LA NUBE





## *Retos y Oportunidades*

**La industria hotelera 4.0 aprovecha la revolución digital para dar soluciones al turismo de masas, ofrecer experiencias a medida y comprometerse con la sostenibilidad**

La primera ola de digitalización del sector turístico redujo los costes de viaje y vuelo de los usuarios, que podían buscar información y reservar online sin necesidad de recurrir a intermediarios, y mejoró la rentabilidad de hoteles, agencias de viajes y operadores turísticos. El fenómeno que ya se conoce como la industria hotelera 4.0<sup>11</sup> aprovecha la nueva batería de tecnologías y habilitadores de la revolución digital para proporcionar soluciones a los problemas relacionados con el turismo de masas, ofrecer experiencias a medida y comprometerse con la sostenibilidad. Ese nuevo turismo inteligente requiere, no obstante, un sistema interoperable e interconectado que ayude a compartir información y a proporcionar valor añadido a todas las partes interesadas del ecosistema, no únicamente a algunos de sus componentes por separado, a través de plataformas digitales. Ese es el desafío a afrontar para que no se abra una brecha tecnológica entre las pymes y las grandes empresas, entre los nuevos actores y la parte más tradicional del sector, como ha quedado plasmado en el “The Barcelona Call to Action” de la Organización Mundial de Turismo. En uno de sus puntos insta a “incentivar la digitalización del turismo, la aplicación de las tecnologías de la información y la comunicación y la implementación de esquemas de destinos inteligentes que generen valor y avancen en la sostenibilidad”<sup>12</sup>.

Millenials y Generación Z. Una investigación reciente realizada por la Comisión Europea ha encontrado diferencias significativas en la adopción de tecnologías digitales incluso entre distintas áreas de la UE. Los países nórdicos, por ejemplo, exhiben una mayor tasa de implantación que los del este y el sur de Europa. En todos los casos, las pymes turísticas van a la zaga de las grandes empresas. Si bien el marketing digital básico y el comercio electrónico se están adoptando de forma masiva, las tecnologías avanzadas como el análisis de datos, la computación en la nube, el geoetiquetado y, por supuesto, las soluciones de IoT, solo reciben aún una aceptación limitada<sup>13</sup>. El Foro Económico Mundial estima que en una década, hasta 2025, la digitalización habrá creado 305.000 millones de dólares de valor adicional para el sector turístico mediante mejoras de rentabilidad, pero de esa cantidad alrededor de 100.000 millones se transferirá de los jugadores tradicionales a los nuevos competidores digitales con modelos comerciales innovadores, en especial las agencias de viajes online (OTA) y esas otras nuevas empresas conectadas a ellas en plataformas.

Hay que tener en cuenta que los actuales Millennials y la Generación Z compondrán la mayor parte de los turistas nacionales e internacionales para 2040. También se prevé, por otra parte, que la transformación digital genere beneficios valorados en 700.000 millones de dólares para los clientes y la sociedad en general, a través de la reducción de la huella ambiental, la mejora de la seguridad y el ahorro de costes y tiempo<sup>14</sup>.

### *El Foro Económico Mundial estima que entre 2015 y 2025 la digitalización creará 305.000 millones de dólares de valor adicional para el sector turístico*

En los últimos 10 años, el turismo y los viajes han sido la mayor categoría de productos y servicios vendidos a nivel mundial a través de Internet<sup>15</sup>. La digitalización de las pymes se ha identificado como uno de los grandes desafíos para que la modernización del sector turístico se lleve a cabo de forma equilibrada. Las barreras a superar son de distintos tipos: las tecnológicas, relacionadas con el acceso a la infraestructura digital, ya que el Internet de alta velocidad y las redes Wi-Fi son necesarias para dar el salto a la computación en la nube y el análisis de datos; la falta de financiación, información, redes de conocimiento, habilidades y tiempo, que tratan de paliar iniciativas como la Agenda Digital de España; el cambio en los perfiles laborales; y la brecha de productividad entre las pymes turísticas tradicionales y las compañías habilitadas digitalmente. La Comisión Europea ha tratado de reaccionar creando la Red de Turismo Digital y respaldando la Red de Aceleradores Creativos para el Turismo Sostenible (CAST) que proporciona apoyo de incubación y aceleración a las empresas emergentes y pymes de turismo, con socios de ocho países: Irlanda, Chipre, España, Italia, Reino Unido, Bélgica, Alemania y Dinamarca.

En el caso del IoT se han puesto en marcha también proyectos como Be Memories, una guía turística desplegada en Ceuta y Bristol (Reino Unido) que difunde su patri-

monio inmaterial a través de dispositivos denominados Smart Spots, creando una red Wi-Fi abierta en diferentes puntos culturales de la ciudad. Los residentes colaboran en la iniciativa como creadores de contenidos. Otro proyecto, TreSight, se ha instalado en la ciudad de Trento (Italia) y aprovecha la información de Open Data Trentino. Se puede consultar gracias a un brazalete portátil que envía datos sobre la ubicación y el entorno del usuario<sup>16</sup>.

El programa de trabajo Digital Europe impulsa, asimismo, un espacio común de datos para el turismo, otro para el patrimonio cultural y un tercero para la movilidad. Los espacios de datos han demostrado ser de enorme utilidad para compartir información en situaciones de necesidad, como la crisis de la pandemia, y transmitir la confianza que demandan los viajeros para reactivar el turismo. La clave es garantizar la interoperabilidad de la información entre ellos<sup>17</sup>, para lo cual puede resultar fundamental el proyecto de nube única europea Gaia-X, en cuyo comité de dirección hay un representante español, del Instituto Tecnológico de Informática (ITI) de Valencia, y cuyo espacio de datos turísticos lidera nuestro país a través de la plataforma tecnológica Segittur. Solo el 11% de las pequeñas empresas realizan análisis de big data, frente al 33% de las grandes empresas y, de manera similar, de media el 56% de las grandes empresas contratan servicios de computación en la nube frente al 27 % de las pequeñas empresas.



## *El potencial de España*

### **España ejerce liderazgo tecnológico a través de la iniciativa de Destinos Turísticos Inteligentes y de la gestión de datos en la nube Gaia-X**

En su condición de potencia turística mundial, como segundo mayor receptor de visitantes internacionales cada año, España ejerce también el liderazgo tecnológico en algunos ámbitos. Desde luego, en la gestión de los datos en la nube europea Gaia-X, como se ha comentado, pero también con propuestas como la Iniciativa de Destinos Turísticos Inteligentes, puesta en marcha por Segittur, para fomentar la innovación, la sostenibilidad y la competitividad a nivel local a través del desarrollo y despliegue de las TIC. Junto a ello, el Plan de Impulso del Sector Turístico aprobado por el Gobierno contempla también la puesta en marcha del Observatorio de Inteligencia Turística, un nuevo sistema de información y conocimiento turístico, y el refuerzo del Sistema de Inteligencia Turística para el análisis de la demanda y la oferta turísticas nacionales, que se basará en una plataforma de big data en la nube<sup>18</sup>. Llama la atención, no obstante, el bajo nivel de gasto en innovación de las empresas turísticas españolas, un dato que habría que atribuir a la preeminencia de las pymes en el sector. En su mayor parte se trata de innovaciones de proceso, con un peso del 16,7%, mientras que las de producto representan un 9,4% y las de servicios apenas un 8,3%<sup>19</sup>.

Hoteles 4.0. Las grandes corporaciones españolas han mostrado voluntad de liderazgo tecnológico. Apenas un año después de implementar una gama completa de capa-

idades digitales para el cliente, Meliá Hotels International vio cómo el uso de canales de venta directa, tanto su web como su aplicación para dispositivos móviles, había aumentado un 27%. El uso de páginas de destino dinámicas, adaptadas a los visitantes individuales, junto con una experiencia más optimizada, permitió a la compañía incrementar las conversiones online, en un 30% y aumentar el retorno de la inversión (ROI) publicitario en aproximadamente un 25% gracias al marketing programático personalizado. NH Hotel Group, por su parte, fue de los primeros en lanzar un portal (FASTPASS) y una aplicación móvil que permite a los huéspedes registrarse, elegir su habitación y hacer el check out sin intermediarios. Y en el ámbito del blockchain el proyecto Alastria, que se ha convertido en referente mundial en la identificación digital, tiene entre sus objetivos simplificar las operaciones turísticas al tener toda la información disponible sobre un individuo en un solo lugar. Es evidente que los usuarios del sector turístico español reclaman más digitalización. La probabilidad de que un extranjero haga una compra en un comercio hotelero es apreciablemente mayor a través de los canales de comercio electrónico, según los datos registrados en los TPV de CaixaBank. Sucedió así incluso en 2020, cuando el volumen de turistas extranjeros en España fue un 79% menor: el gasto en hoteles por canales online fue del 63%<sup>20</sup>.

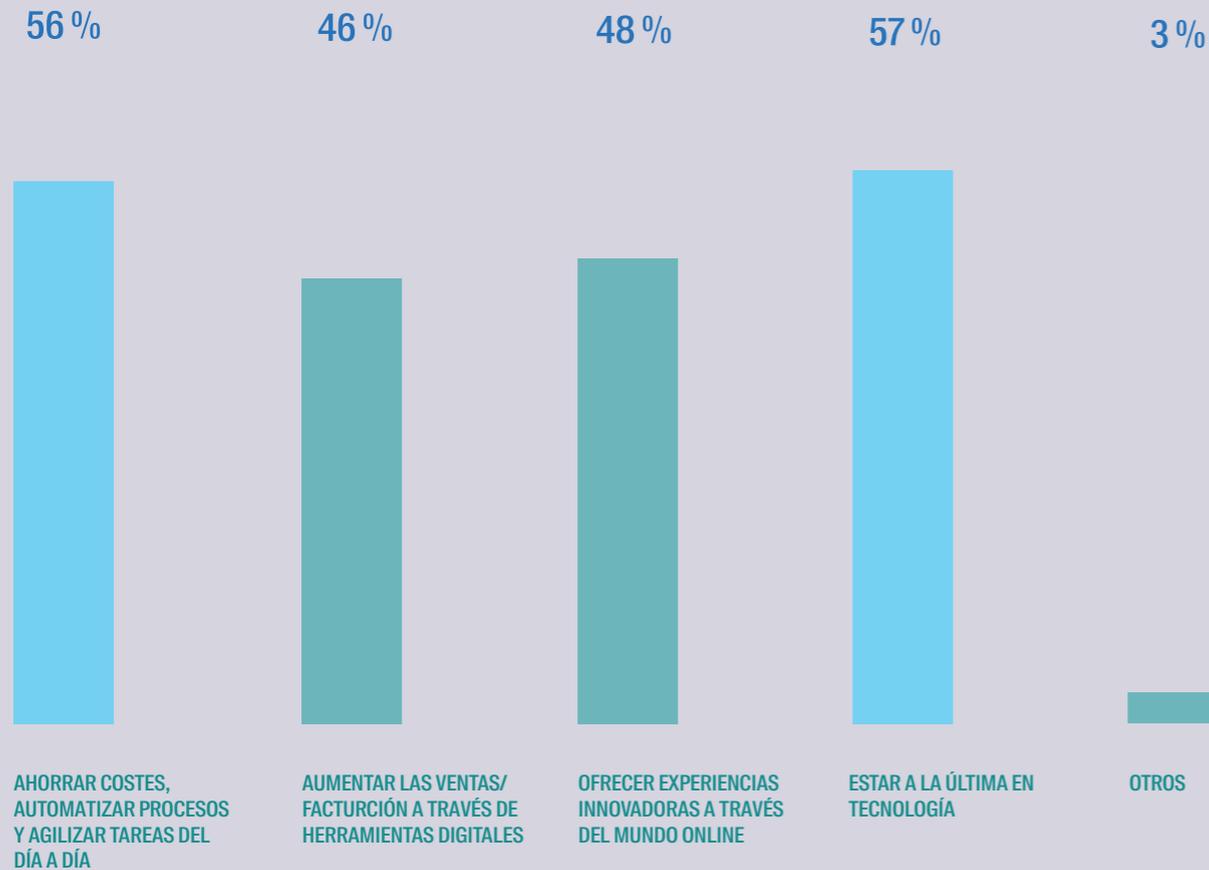
Son numerosos los ejemplos de aplicación del IoT en el sector turístico español. El Ayuntamiento de Las Palmas de Gran Canaria ha implementado un sistema de comunicación basado en tecnología de beacons situados en los principales puntos turísticos que envían a los teléfonos mensajes push en un ratio de hasta 50 metros con ofertas y descuentos en comercios y restaurantes. Entre las empresas con soluciones tecnológicas propias presentes a nivel internacional destaca la zaragozana Libelium. Uno de sus últimos proyectos ha consistido en crear un parking inteligente en St. Pete Beach, una ciudad costera de Florida (EEUU), considerada como la mejor playa de los Estados Unidos para los usuarios de Tripadvisor. El reto era informar en tiempo real a los visitantes sobre disponibilidad de plazas de parking en los alrededores de una concurrida playa, y la solución aplicada incluye 750 nodos de Smart Parking de Libelium que envían los datos de disponibilidad a una plataforma web y a una app móvil.

Fuente: Ernst and Young

FIGURA 4.

**LAS BARRERAS DE LA DIGITALIZACIÓN.** LA PANDEMIA HA ACELERADO LA ADOPCIÓN DE NUEVAS TECNOLOGÍAS. SIN EMBARGO, EL SECTOR HOSTELERO TODAVÍA PARECE RETICENTE A ADOPTAR INNOVACIONES, ESPECIALMENTE EN COMERCIOS COMO BARES Y RESTAURANTES. A PESAR DE CONOCER LOS BENEFICIOS Y LAS POSIBILIDADES DE LAS HERRAMIENTAS DIGITALES, LA FALTA DE INFORMACIÓN SOBRE LAS NUEVAS PLATAFORMAS Y LAS HERRAMIENTAS DISPONIBLES GENERA GRANDES TRABAS A LA HORA DE TOMAR PASOS HACIA UN TURISMO MÁS CONECTADO.

¿QUE ENTIENDES POR DIGITALIZACIÓN?



TECNOLOGÍA Y AUTOMATIZACIÓN DE TAREAS DEL DÍA A DÍA, LA PRINCIPAL DEFINICIÓN DE DIGITALIZACIÓN

PARA MENOS DE LA MITAD DE LOS HOSTELEROS, LA DIGITALIZACIÓN CONSISTE EN AUMENTAR LAS VENTAS A TRAVÉS DE HERRAMIENTAS U OFRECER EXPERIENCIAS INNOVADORAS A TRAVÉS DEL MUNDO ONLINE

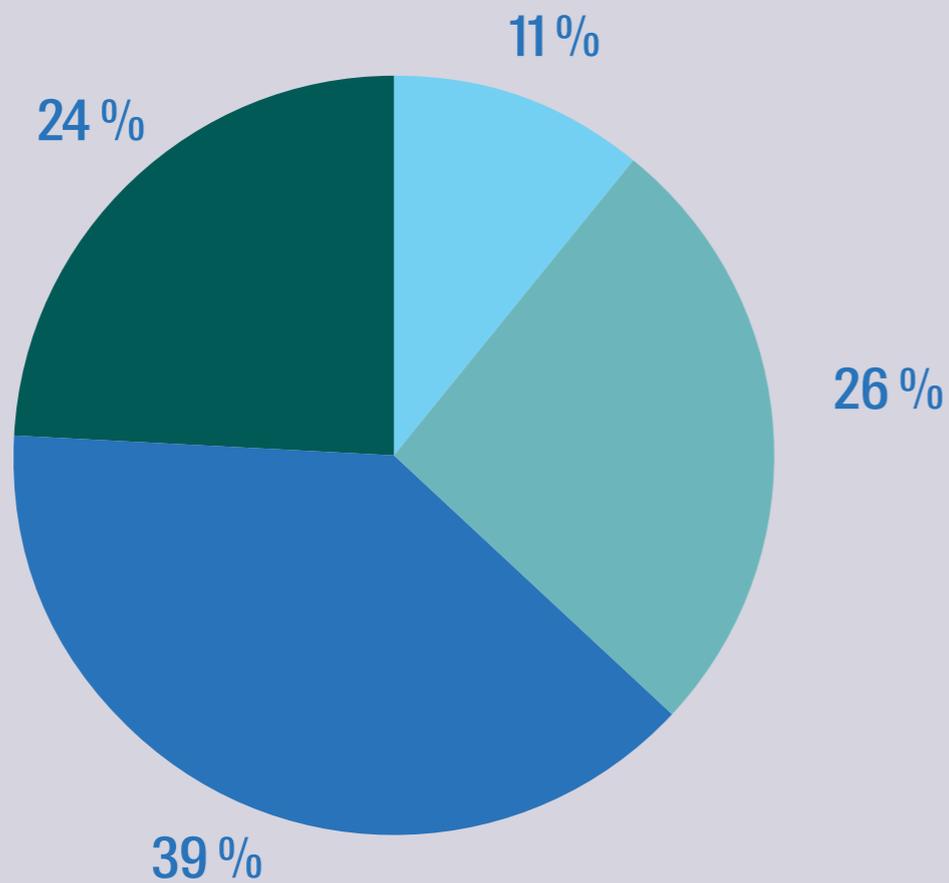
HACIENDO FOCO EN LOS TIPOS DE NEGOCIO



HACIENDO FOCO SEGÚN LA AGRUPACIÓN DE ESTABLECIMIENTOS



**¿CONOCES LAS DIFERENTES HERRAMIENTAS/INICIATIVAS QUE HAY DISPONIBLES PARA DIGITALIZAR TU NEGOCIO?**



**HAY UN GRAN DESCONOCIMIENTO SOBRE INICIATIVAS Y HERRAMIENTAS, PERO NO DAN EL PASO PARA INFORMARSE...**

EL 63% DESCONOCE COMPLETAMENTE O SÓLO ALGUNA IDEA DE LAS HERRAMIENTAS EXISTENTES PERO NO SE HA INFORMADO EN PROFUNDIDAD

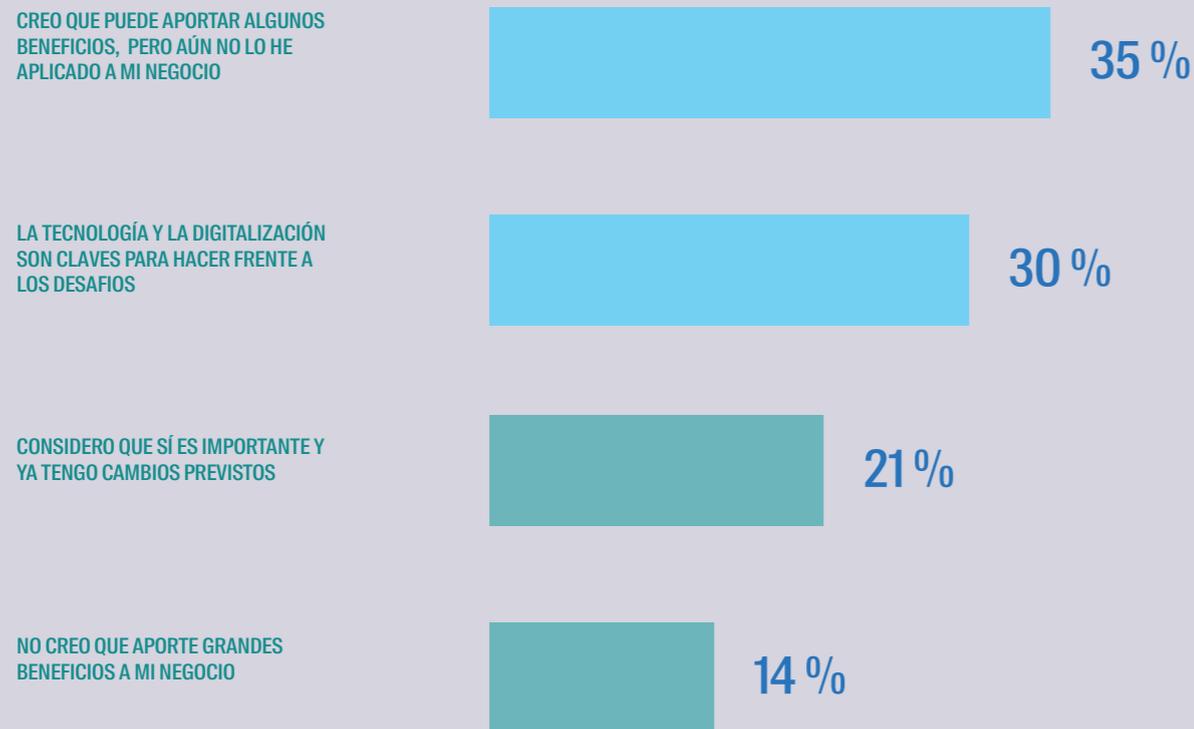
**HACIENDO FOCO EN LOS TIPOS DE NEGOCIO**



**HACIENDO FOCO SEGÚN LA AGRUPACIÓN DE ESTABLECIMIENTOS**



### ¿QUÉ IMPORTANCIA CONSIDERAS QUE TIENE ACTUALMENTE LA DIGITALIZACIÓN EN TU NEGOCIO?



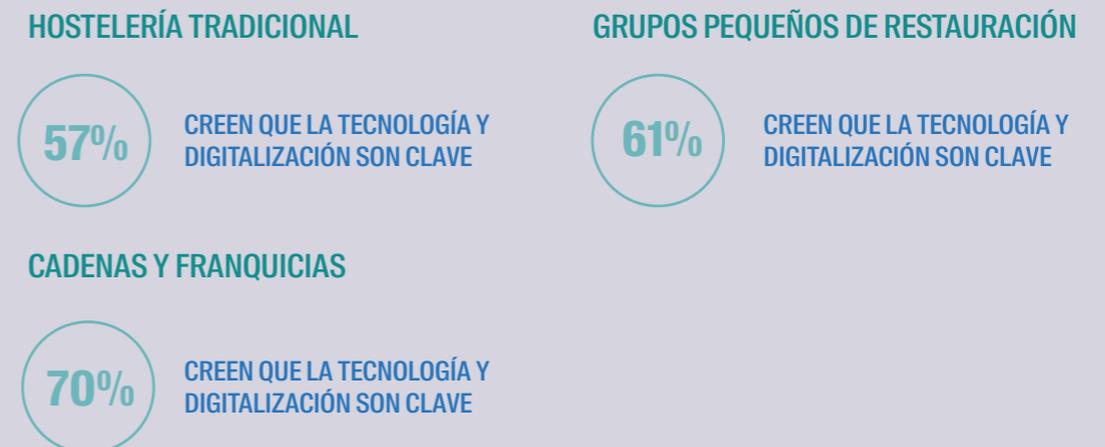
### LA DIGITALIZACIÓN ES IMPORTANTE PARA LA GRAN MAYORÍA DE HOSTELEROS PERO FALTA SU APLICACIÓN...

PARA UN 51% DE LOS ENCUESTADOS LA DIGITALIZACIÓN ES CLAVE O MUY IMPORTANTE Y ESTÁN EJECUTANDO, UN 35% LO CONSIDERAN IMPORTANTE PERO AÚN NO SE HA PUESTO EN MARCHA, Y SOLO UN 14% SE MUESTRA ESCÉPTICOS ANTE LOS BENEFICIOS DE LA DIGITALIZACIÓN

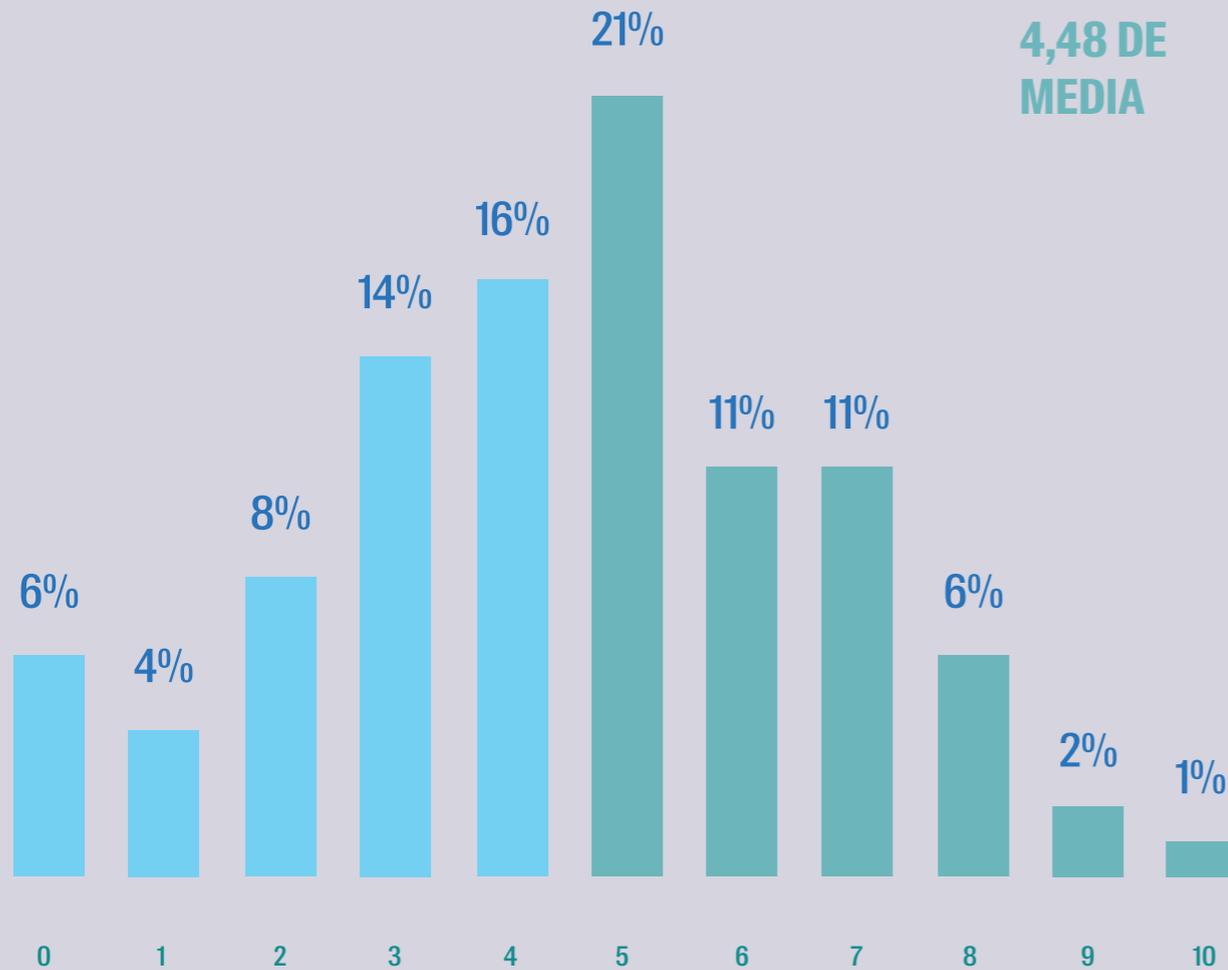
#### HACIENDO FOCO EN LOS TIPOS DE NEGOCIO



#### HACIENDO FOCO SEGÚN LA AGRUPACIÓN DE ESTABLECIMIENTOS



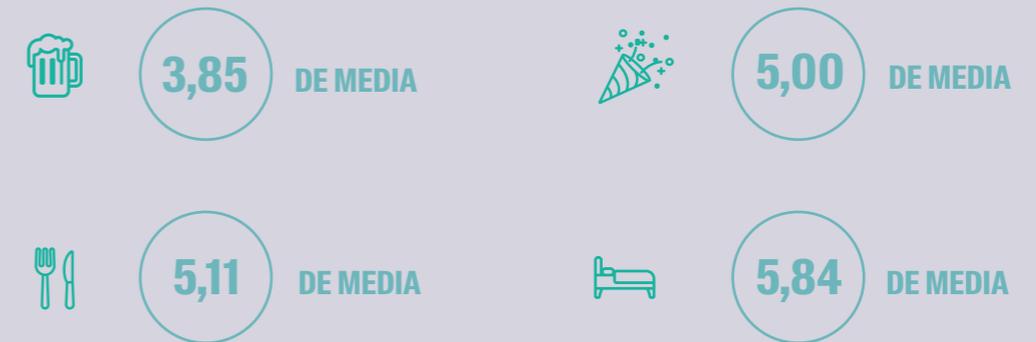
**¿QUÉ NIVEL DE DESARROLLO DIGITAL CONSIDERAS QUE TIENE TU NEGOCIO ACTUALMENTE? (1-10)**



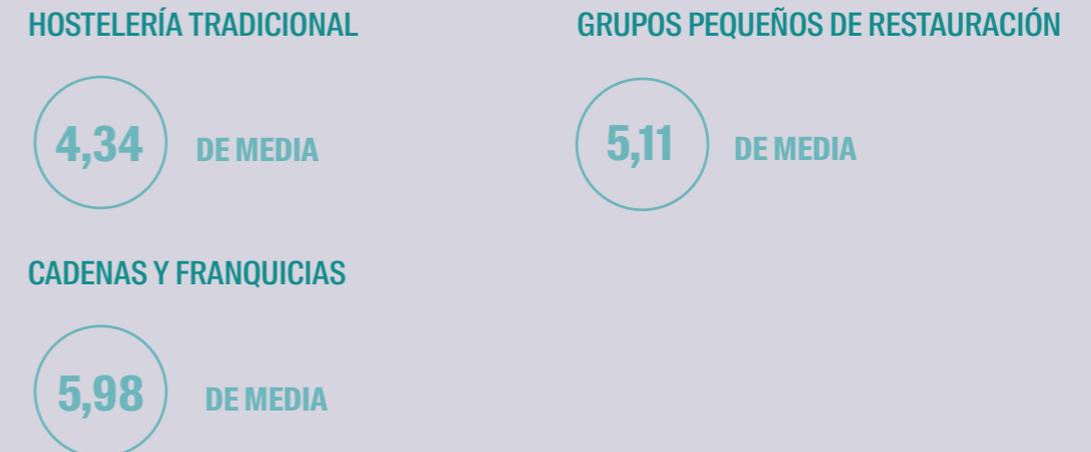
**LA DIGITALIZACIÓN ES IMPORTANTE PARA LA GRAN MAYORÍA DE HOSTELEROS PERO FALTA SU APLICACIÓN...**

SOLO UN 3% DE LOS HOSTELEROS CONSIDERA TENER UN NEGOCIO MUY DESARROLLADO DIGITALMENTE HABLANDO. UN 48% CONSIDERA TENER SU NEGOCIO MUY POCO DESARROLLADO EN TÉRMINOS DIGITALES, DESTACANDO EL BAJO GRADO DE BARES Y CAFETERÍAS

**HACIENDO FOCO EN LOS TIPOS DE NEGOCIO**



**HACIENDO FOCO SEGÚN LA AGRUPACIÓN DE ESTABLECIMIENTOS**





## Aplicación e impacto

**Se requiere gestionar los datos con visión de economía de plataforma, porque los clientes evalúan la experiencia de viaje de principio a fin**

En estos momentos, los datos no están estructurados. Es difícil compartirllos e integrarlos en el sector. Para una línea de cruceros, por ejemplo, no resulta fácil ofrecer una experiencia de viaje diferenciada a un potencial cliente al no tener acceso a los datos sobre los últimos 10 cruceros en los que ha participado. El 90% de las marcas de viajes cuentan con tecnología para ofrecer una experiencia de contenido personalizada, pero solo el 50% utiliza esos datos para personalizar el contenido de sus páginas de inicio en función de ellos, pese a que el 75 % de los consumidores compran a las empresas si reciben recomendaciones relevantes basadas en su historial de compras. Hay que gestionar los datos, además, con visión de economía de plataforma, porque los clientes evalúan la experiencia de viaje de principio a fin, incluso los aspectos que escapan al control directo de una empresa. Una experiencia negativa en el control de seguridad puede afectar a la percepción general del vuelo de una persona, independientemente de lo que haya hecho la compañía aérea. De ahí que casi el 40% de los ejecutivos de las aerolíneas consideren que los modelos basados en plataformas y el compromiso con el ecosistema son "críticos" para el éxito de su negocio<sup>21</sup>.

La Comisión Europea ha apoyado un protocolo sobre los principios de interoperabilidad de los datos desarro-

*La Comisión Europea apoya un protocolo de interoperabilidad de datos con el objetivo de que sirva para conectar al turismo con otros sectores*

llado por los Estados miembros y está enfocando este asunto con el objetivo de que sirva para conectar al turismo con otros sectores, de manera que se acelere la adopción de nuevas soluciones y se impulsen inversiones que conecten al ecosistema turístico con las TIC, las energías renovables, la salud y las ciencias de la vida, y las industrias agroalimentaria, marítima, cultural y creativa, incluido el sector de los medios de comunicación<sup>22</sup>. El problema del turismo con la gestión de los datos es tal que, actualmente, solo el 30% de las empresas de viajes implementan la nube a escala y, aunque pueda parecer paradójico, el 82% de los altos ejecutivos piensan que pueden lograr sus resultados comerciales a través de la tecnología y la infraestructura actuales. Pero la pandemia ha demostrado que éstos carecen de la flexibilidad necesaria para responder a interrupciones masivas o para adaptarse al rápido ritmo de avance de tecnologías como el IoT, el 5G o la biometría<sup>23</sup>.

Hay que conectar con la nube y, probablemente, más allá. Como en todo sector en el que se implementan soluciones de IoT, aparece en el horizonte la cuestión acerca de la penetración futura del blockchain en el sector turístico. La plataforma descentralizada FlightChain ha registrado ya millones de cambios de vuelo entre el aeropuerto de Ginebra, el aeropuerto de Heathrow y el aeropuerto internacional de Miami y ha resultado ser más sofisticada en comparación con los servicios de datos basados sólo en la nube. Entre los primeros gigantes del sector en adoptar la tecnología blockchain se encuentran TUI, para sus sistemas de reserva y pago, CheapAir, Expedia y airBaltic, que aceptan pagos en bitcoins, y S7 Airlines para la emisión y venta de billetes. De hecho, las soluciones de cadena de bloques para turismo están emergiendo exponencialmente, con casos ya populares como los de WindingTree, LockTrip, TravelChain y Tripago<sup>24</sup>. A pesar de estos ejemplos, el blockchain tendrá que adaptarse al sector turístico, porque todavía se encuentra en un nivel muy técnico y, por lo tanto, no es muy accesible para los profesionales del turismo, salvo que se produzca una intervención del Estado que lo impulse<sup>25</sup>.

## x ————— *Conclusiones*

Las experiencias turísticas están cambiando, gracias a la realidad virtual, la realidad aumentada y el internet de las cosas. En su condición de potencia turística mundial, como segundo mayor receptor de visitantes internacionales cada año, España ejerce también el liderazgo tecnológico en algunos ámbitos. En general, las diferentes tecnologías ofrecerán al turista experiencias personalizadas y más eficientes. La transformación digital del turismo cambiará nuestros viajes, en todas sus fases: desde la preparación, planificación y las reservas, en el destino y también en la vuelta a casa.



1. Hotel Management Network (2021). **“Internet of Things (IoT) in Travel and Tourism: Industry trends”**. Consultado el 20 de marzo de 2022.

2. Globaldata (2021). **“Internet of Things (IoT) in Travel and Tourism – Thematic Research”**. Consultado el 20 de marzo de 2022.

3. N. Dave. **“8 Ways in Which IoT is Shaping the Future of Travel Industry”**. Digital Doughnut, 29 de enero de 2018. Consultado el 20 de marzo de 2022.

4. Revfine (n.d.). **“5 Ways Big Data Can Benefit the Travel Industry”**. Consultado el 20 de marzo de 2022.

5. M.O. Parvez. Journal of Tourism Futures, 2021, 7, 240. DOI: 10.1108/JTF-09-2019-0083.

6. C. Coates. **“How Museums are using Augmented Reality”**. Museum Next, 17 de julio de 2021. Consultado el 20 de marzo de 2022.

7. B. Marr. **“The Amazing Ways VR And AR Are Transforming The Travel Industry”**. Forbes, 12 de abril de 2021. Consultado el 20 de marzo de 2022.

8. Teatro Real (2021). **“Aventura en el Real: una serie interactiva para descubrir el teatro”**. Consultado el 20 de marzo de 2022.

9. A. García. **“El Museo del Prado abre sus puertas en Animal Crossing”**. La Vanguardia, 7 de enero de 2022. Consultado el 20 de marzo de 2022.

10. Doxee (2021). **“Travel industry and digital transformation: When tourism goes digital”**. Consultado el 20 de marzo de 2022.

11. A. Zeqiri. **“Digitalization of the tourism industry: What are the impacts of the new wave of technologies”**. Balkan economic review, 2020. Consultado el 20 de marzo de 2022.

12. Organización Mundial de Turismo (2021). **“The Barcelona Call to Action”**, Consultado el 20 de marzo de 2022.

13. OCDE (2020). **“OECD Tourism Trends and Policies 2020”**. Consultado el 20 de marzo de 2022.

14. World Economic Forum (2019). **“The Travel & Tourism Competitiveness Report 2019”**. Consultado el 20 de marzo de 2022.

15. OCDE (2021). **“Preparing the Tourism Workforce for the Digital Future”**. Consultado el 26 de marzo de 2022.

16. EASME (2018). **“Digitalisation in Tourism”**. Consultado el 22 de marzo de 2022.

17. Comisión Europea (n.d.). **Digital Europe Programme**. Consultado el 22 de marzo de 2022.

18. Gobierno de España (2020). **“Plan de impulso del sector turístico: Hacia un turismo seguro y sostenible”**. Consultado el 22 de marzo de 2022.

19. COTEC (2020). **“Innovación Turística y Especialización Inteligente en España”**. Consultado el 22 de marzo de 2022.

20. J. Ibáñez de Aldecoa Fuster, **“La importancia de reactivar la digitalización del sector turístico”**, 15 de enero de 2022. Consultado el 22 de marzo de 2022.

21. Accenture (2017). **“Connecting for Growth in Travel”**. Consultado el 22 de marzo de 2022.

22. Comisión Europea (2020). **“El turismo y el transporte en 2020 y en adelante”**. Consultado el 22 de marzo de 2022.

23. Accenture (2022). **“The right cloud mindset in travel”**. Consultado el 22 de marzo de 2022.

24. I. Tyan, et al. **“Blockchain adoption in tourism: grounded theory based conceptual model”**, Journal of Tourism Research, 2020. Consultado el 26 de marzo de 2022.

25. E. Fragnière et al. Journal of Innovation Economics & Management, 2022, DOI: 10.3917/jie.037.0065.

26. Accenture (2019). **“A post-digital trip of a lifetime”**. Consultado el 26 de marzo de 2022.

# 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 CEPESA.

### Emma Fernández.

Ingeniera de telecomunicaciones y MBA. Ha desarrollado su carrera profesional en el sector de la tecnología en compañías de referencia como Telefónica, Alcatel e Indra. En esta última fue Directora General, entre 2006 y 2015.

### 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.

### Fernando Temprano.

Doctor en Ciencias Químicas y Máster en Administración de Empresas. Desde 2007 hasta 2017 fue director de la división de I+D y tecnología de Repsol, con responsabilidad mundial en ese ámbito.

## 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 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 TECNOLOGÍAS 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 Mallo Sanchis.

Periodista, divulgador y analista. Autor del análisis y la 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.



