
TECNOLOGÍAS EN LA FRONTERA DE LA INNOVACIÓN

JAVIER GARCÍA MARTÍNEZ

Universidad de Alicante

Durante 10 años he tenido el honor de formar parte del grupo de expertos que, convocados por el Foro Económico Mundial, hemos elaborado el informe *Top 10 Emerging Technologies* (Figura 1) en el que destacamos aquellas tecnologías que han salido del laboratorio y comenzando a ser una realidad comercial. Los objetivos de esta iniciativa son identificar, analizar y comunicar las tecnologías que tienen mayor potencial para redefinir nuestro futuro.

El presidente y fundador del Foro Económico Mundial, Prof. Klaus Schwab, impulsó esta actividad anual para que los líderes mundiales que asisten al Foro de Davos estén al corriente de las nuevas tecnologías y conozcan los riesgos y oportunidades que representan. [1]

Desde 2019, tengo el honor de dirigir la cátedra de ciencia y sociedad de la Fundación de Rafael del Pino. Esta iniciativa tiene como objetivo llevar a cabo una labor de prospectiva para informar y explicar aquellas tecnologías emergentes que, en opinión de un grupo de expertos del máximo prestigio, [3] tienen el mayor potencial para mejorar la competitividad de la economía española. Desde la cátedra desarrollamos una labor de prospectiva y análisis con el objetivo de transitar desde un planteamiento meramente teórico o aspiracional de la innovación hacia una hoja de ruta con recomendaciones específicas. Para ello publicamos un informe anual con diez tec-

nologías (Figura 2), que por su enorme potencial y por su relación con las fortalezas y oportunidades de nuestro sistema productivo, representan una ocasión excepcional para avanzar hacia una economía más competitiva, diversificada y resiliente.

El trabajo de la cátedra y la primera parte de nuestro informe consisten en el análisis de sistema de I+D+i de nuestro país por diferentes sectores (Figura 3). Este es un aspecto que ha sido estudiado con detalle por diversos organismos que periódicamente hacen una radiografía de nuestra capacidad innovadora y, lo que es probablemente más útil, analizan su evolución en relación con otros países. [3]

Por la calidad y detalle de los estudios publicados periódicamente por otros organismos, en nuestra cátedra no insistimos en el análisis de una realidad tan diagnosticada como poco tratada. Un indicador

FIGURA 1
PORTADAS DE LOS INFORMES TOP 10 EMERGING TECHNOLOGIES DEL AÑO 2014 A 2019 PUBLICADOS POR EL FORO ECONÓMICO MUNDIAL



Fuente: Top 10 Emerging Technologies by the World Economic Forum <https://www.weforum.org/reports/top-10-emerging-technologies-2020>

habitual de estos diagnósticos revela que nuestra capacidad para innovar decrece con el tiempo cuando se compara con la evolución de otros países. En la Figura 4, y simplemente a modo de ejemplo, se muestra cómo la complejidad de la economía española (parámetro que, según el *Atlas of economic complexity* de la Universidad de Harvard [4], permite medir la capacidad de un país de competir en servicios y productos que otros son incapaces de ofrecer) cae año tras año mientras que la complejidad de la economía de Corea del Sur (que partía de una situación similar a la nuestra en el año 2000) ha crecido desde la posición 19 a la 3.

De forma similar, si analizamos los distintos productos que exportamos (Figura 5), podemos observar nuestra dependencia de sectores poco tecnológicos o de escaso valor añadido, lo que nos expone más a crisis internacionales que aquellos países que presentan una economía más compleja, es decir, más competitiva. Estos sectores, que se

muestran en distintos colores en la siguiente figura, han sido los mismos durante mucho tiempo. El turismo, la ganadería y la agricultura, la automoción y petroquímica, han ocupado un papel fundamental en nuestras exportaciones durante décadas, mientras que otros países han ido incorporando otros sectores de mayor valor añadido y con empleos más estables y mejor pagados, como los tecnológicos, que en nuestro caso tienen un peso menor, como constata la *Export Basket* (cesta de exportaciones) elaborada por la Universidad de Harvard. [4]

Como se repite en numerosos informes, *análisis y estudios sobre nuestro sistema de ciencia, tecnología e innovación, la inversión en I+D+i en España, tanto pública como privada, es mucho menor que la de los países de nuestro entorno, hasta el punto de que estamos muy por debajo de la media europea. De hecho, más de un punto porcentual; exactamente 1,25 % frente a 2,18 %*

FIGURA 2
PORTADA Y LISTADO DE LAS 10 TECNOLOGÍAS SELECCIONADAS EN EL INFORME DE LA CÁTEDRA CIENCIA Y SOCIEDAD DE LA FUNDACIÓN RAFAEL DEL PINO «10 TECNOLOGÍAS EMERGENTES PARA IMPULSAR A ESPAÑA 2020»



Fuente: Cátedra Ciencia y Sociedad de la Fundación Rafael del Pino: <https://frdelpino.es/ciencia-y-sociedad>

FIGURA 3
PRINCIPALES INDICADORES DE LA COMPETITIVIDAD DE LA ECONOMÍA ESPAÑOLA

Economy Profiles

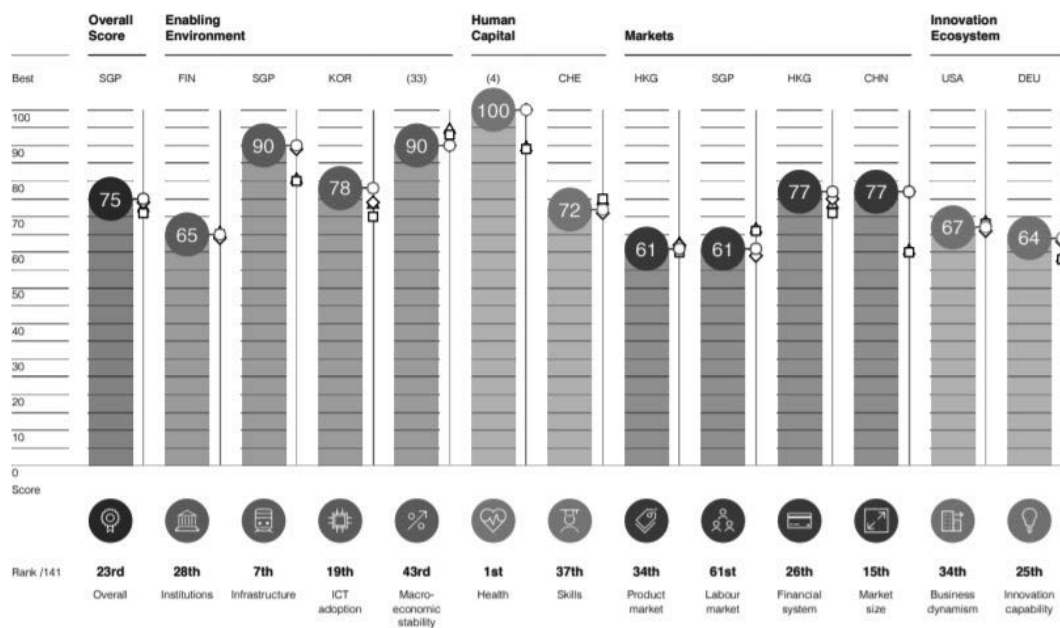
Spain

23rd / 141

Global Competitiveness Index 4.0 2019 edition

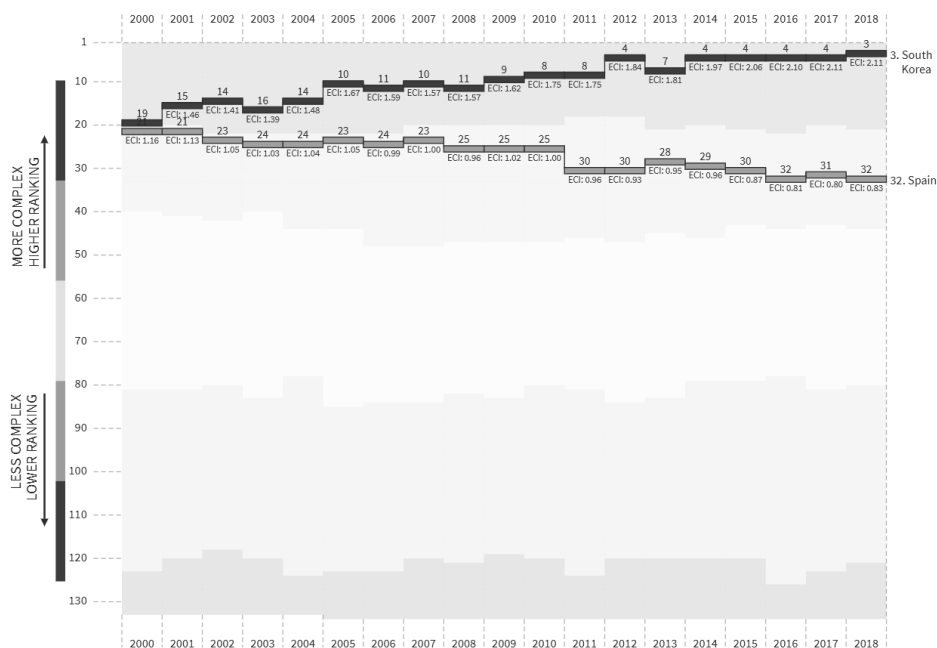
Rank in 2018 edition: 26th/140

Performance Overview 2019 Key ◇ Previous edition ▲ High-income group average □ Europe and North America average



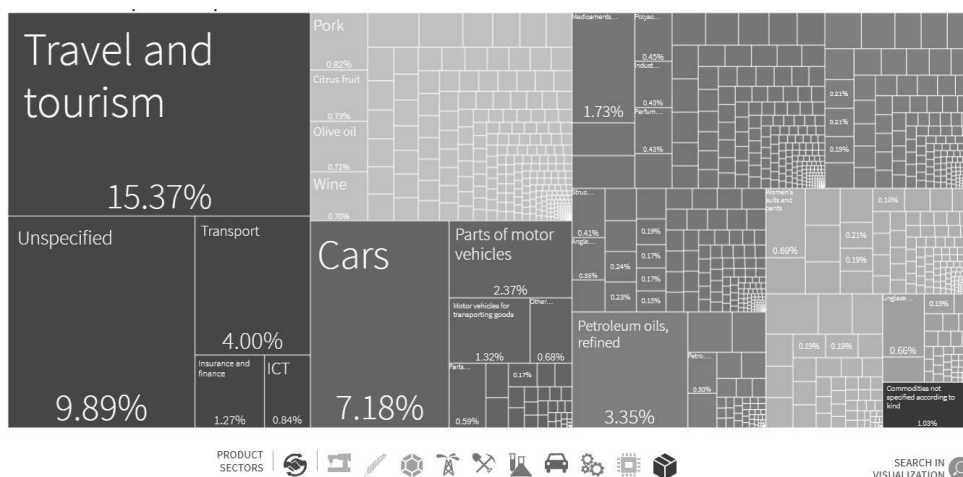
Fuente: Global Competitiveness Index 4.0 (2019)

FIGURA 4
EVOLUCIÓN DE LA COMPLEJIDAD DE LAS ECONOMÍAS DE ESPAÑA Y DE COREA DEL SUR DESDE EL AÑO 2000



Fuente: Country & Product Complexity Rankings. Atlas of economic complexity. Harvard University. <https://atlas.cid.harvard.edu/rankings>

FIGURA 5
PRINCIPALES PRODUCTOS EXPORTADOS POR ESPAÑA DURANTE EL AÑO 2018 ORDENADOS POR SECTORES



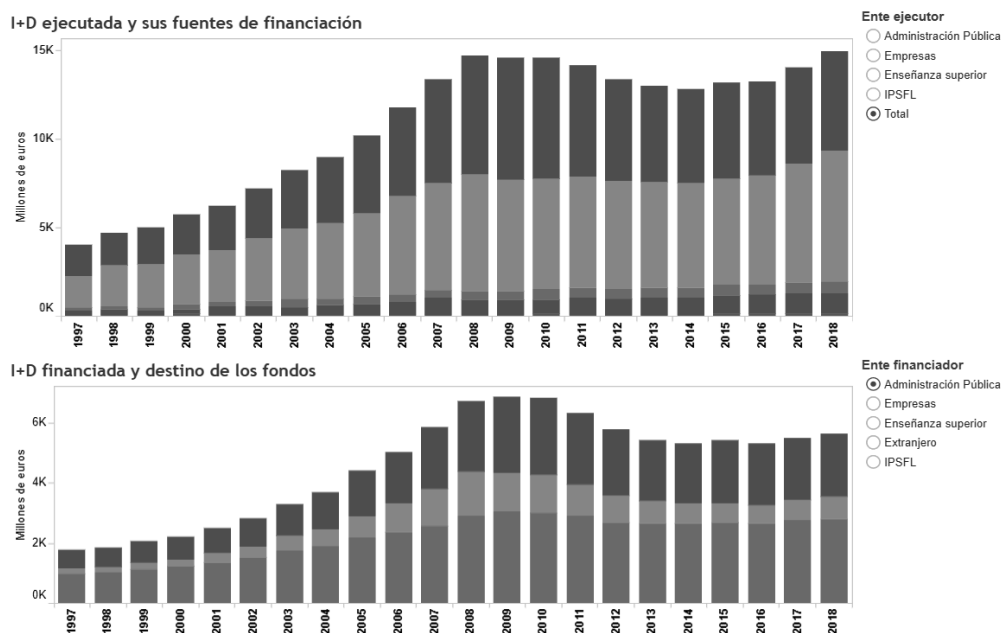
Fuente: *Export Basket*, 2018. Atlas of Economic Complexity. Harvard University: <https://atlas.cid.harvard.edu/countries/71/export-basket>

en 2019. Además, durante los años posteriores a la crisis de 2008, la inversión de I+D+i decreció sensiblemente en nuestro país, especialmente la ejecutada (Figura 6), lo que nos separó aún más de la media europea, ya que los países más innovadores de la EU aumentaron significativamente sus partidas en I+D+i durante esos años. [5]

Siendo la inversión en I+D+i muy importante, especialmente la proveniente del sector privado, que a veces pasa más desapercibida, no lo es menos cómo usar esos fondos. En España faltan

recursos para innovar, especialmente en aquellas áreas que requieren más tiempo e inversión; es decir, las más disruptivas. Pero, sobre todo, el país necesita una estrategia basada en un análisis de nuestras fortalezas y oportunidades. Es hora de pasar de un Pacto por la Ciencia a un Plan por la Ciencia. Ya hemos dedicado demasiado tiempo a discusiones sin compromisos concretos. Necesitamos urgentemente un plan que mueva a la acción con objetivos, prioridades y herramientas específicos, que tenga indicadores e hitos que puedan ser evaluados.

FIGURA 6
GASTO EN I+D EJECUTADO EN ESPAÑA DESGLOSADO POR SECTOR DE EJECUCIÓN (EMPRESAS, ENSEÑANZA SUPERIOR, CENTROS DEL GOBIERNO, IPSFL) Y POR FUENTE DE FINANCIACIÓN (EMPRESA, ENSEÑANZA SUPERIOR, IPSFL Y EXTRANJERO)



Fuente: INE, Estadística de I+D. Serie temporal: 1997-2018. Fecha de última extracción de datos: enero 2020.

DIEZ TECNOLOGÍAS EN LA FRONTERA DE LA INNOVACIÓN

El informe de la Cátedra de Ciencia y Sociedad de la Fundación Rafael del Pino trata de contribuir a diseñar de una estrategia eficaz para nuestro sistema de innovación y a ofrecer orientación fiable para la toma de decisiones. Con este fin, identifica diez tecnologías, seleccionadas por un comité de expertos, que paso a describir de forma muy somera. Cada una de las elegidas en este decálogo destaca por su capacidad para dinamizar y mejorar la competitividad de nuestro sistema productivo.

Inteligencia artificial

La inteligencia artificial está presente en buena parte de las acciones que realizamos diariamente, aunque su presencia no sea evidente. Desde las sugerencias que recibimos a la hora de comprar productos *online* al reconocimiento facial que nos permite acceder a nuestro teléfono móvil. El desarrollo de algoritmos que reconocen y procesan patrones de datos mediante el aprendizaje automático ha permitido realizar tareas que anteriormente parecían imposibles. Numerosas empresas, tanto aquellas que venden contenido y productos *online* como las que se dedican a la seguridad, han implementado distintas herramientas del aprendizaje máquina y de la inteligencia artificial a sus procesos.

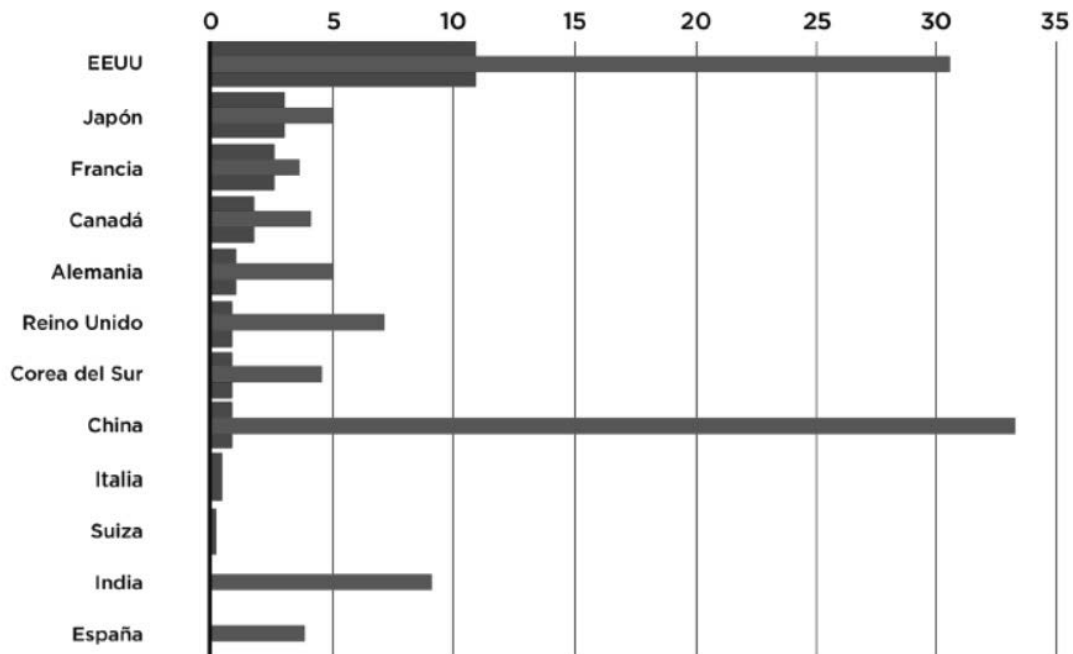
Una manera sencilla y a la vez adecuada de conocer qué países están liderando el desarrollo de una nueva tecnología es el análisis de la producción

científica y de la propiedad intelectual. En el caso de la inteligencia artificial resulta evidente que EEUU tiene una posición muy destacada, tanto en la generación de nuevo conocimiento (artículos) como en la de propiedad intelectual (patentes) (Figura 7). Pero, probablemente, lo que más llama la atención de este estudio llevado a cabo por la Universidad de Stanford [6] es que China es el país con mayor producción científica en este campo, incluso más que EEUU. Europa tienen un papel mucho menos destacado. En el caso de España, nuestro país tiene una destacada producción científica – ocupando la octava posición – mientras que apenas genera patentes. Algo que también ocurre en otros campos.

Los países que destacan por la producción y protección de conocimiento en el área de inteligencia artificial son también aquellos que tienen una estrategia propia para el fomento de esta tecnología. En la Figura 8 se muestran los países que tienen una estrategia sobre inteligencia artificial aprobada y también aquellos que la tienen en elaboración. Estas iniciativas son especialmente útiles para fomentar el desarrollo de la inteligencia artificial, ya que en la mayoría de los casos incluyen partidas presupuestarias y recursos propios para la implementación de sus resultados en el tejido productivo del país.

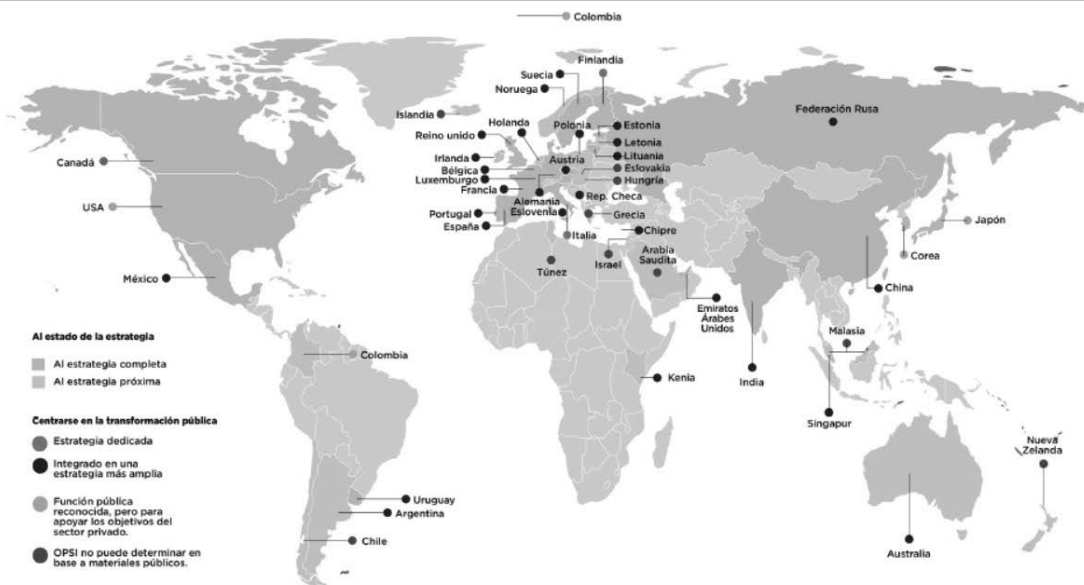
Nuestro país cuenta con numerosos grupos de investigación dedicados a distintos aspectos de la inteligencia artificial. En este sentido merece la pena destacar Fundación ELLIS Alicante. Esta iniciativa, liderada por la investigadora Nuria Oliver, cuenta

FIGURA 7
PATENTE Y ARTÍCULOS CIENTÍFICOS (EN MILLARES) SOBRE INTELIGENCIA ARTIFICIAL DURANTE EL PERIODO 2015-2018



Fuente: Stanford IA. Index Report/MAG (2018)

FIGURA 8
PAÍSES CON ESTRATEGIA SOBRE INTELIGENCIA ARTIFICIAL DE 2019

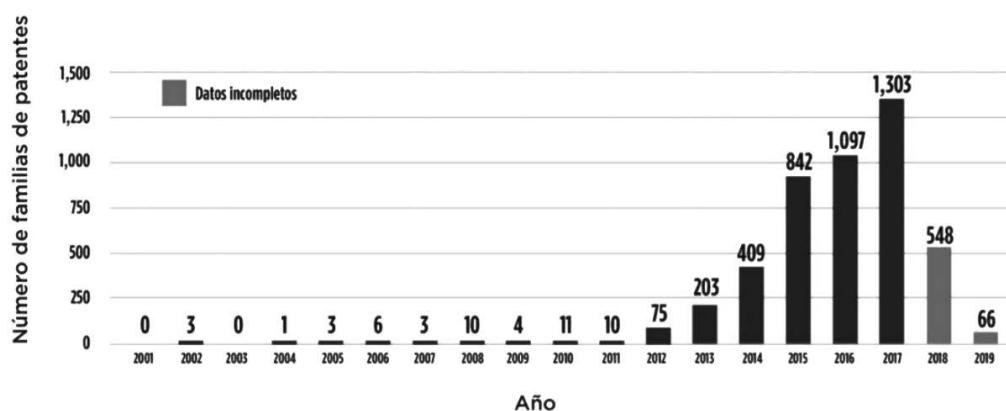


Fuente: 10 Tecnología para Impulsar España (2020)

con 30 unidades y forma una red de excelencia con el resto de los centros ELLIS en otros 14 países europeos y en Israel. [7] En cuanto a las empresas españolas dedicadas a la inteligencia artificial cabe señalar a Serpa.ai, fundada y liderada por Xabi Uribe-Etxebarria. Se trata de una de las empresas líderes en el desarrollo y comercialización de asis-

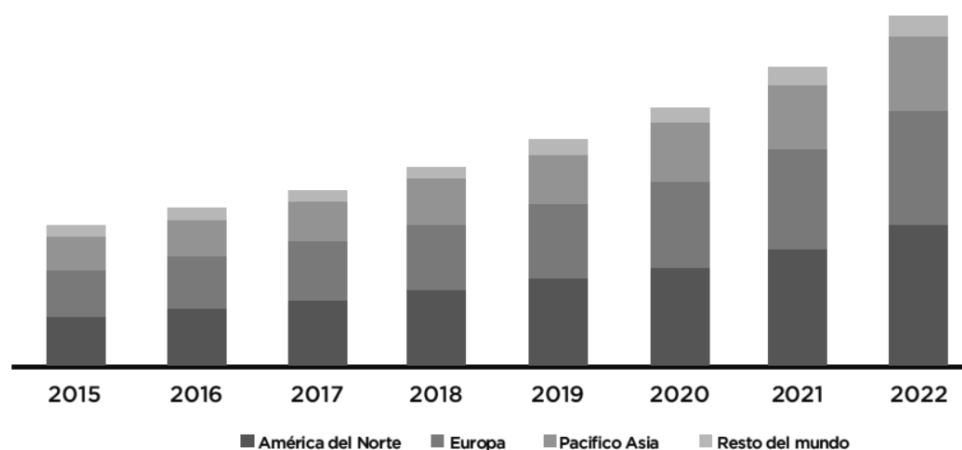
tentes digitales predictivos y ha sido recientemente seleccionada como una de las diez compañías más importantes a nivel global en inteligencia artificial por la prestigiosa revista *Datamation*. También grandes empresas españolas han comenzado a implementar la inteligencia en distintos ámbitos de su actividad, como Repsol que ha desarrollado una

FIGURA 9
NÚMERO DE SOLICITUDES DE NUEVAS FAMILIAS DE PATENTES EN EDICIÓN GENÉTICA PRESENTADAS EN TODO EL MUNDO



Fuente: IPStudies. Los datos de 2018 y 2019 están incompletos por retraso en la publicación de EE UU.

FIGURA 10
MERCADO GLOBAL DE EDICIÓN GENÉTICA 2015-2022



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

herramienta basada en aprendizaje máquina para predecir el consumo energético. El interés de esta empresa por esta nueva tecnología se manifiesta también por su entrada en el accionariado de la estadounidense dedicada a la inteligencia artificial *Belmont Technology*.

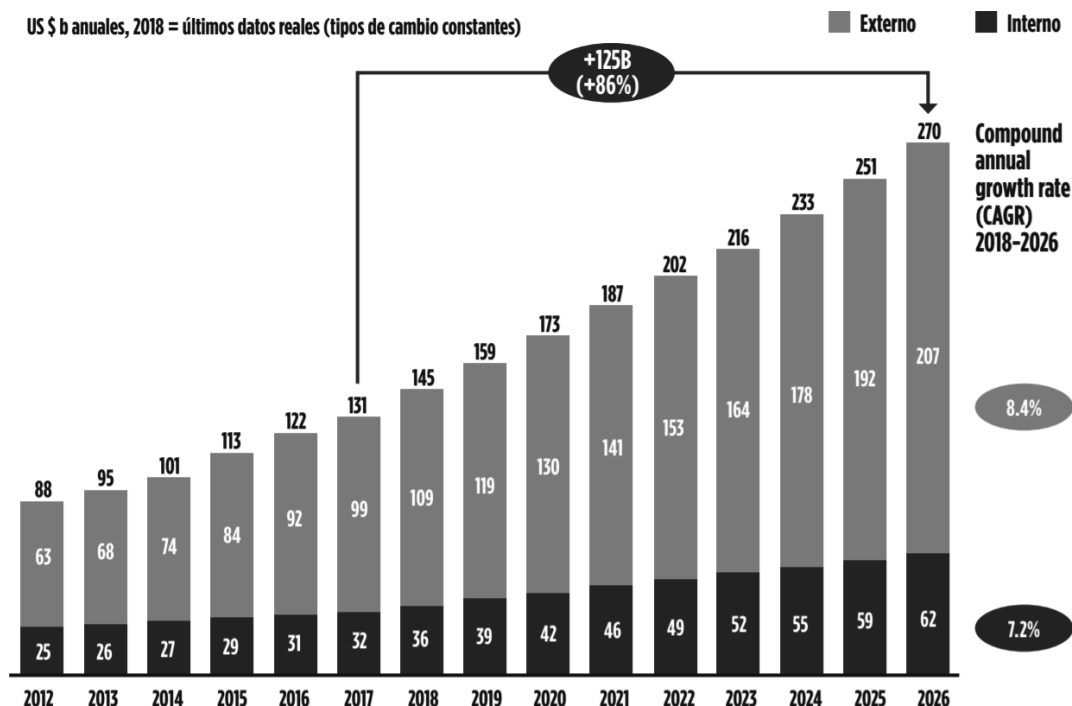
Edición genética

Gracias al descubrimiento de CRISPR por el científico alicantino Francis Mojica y la posterior modificación de esta herramienta para la edición genética mediante el acoplamiento de la proteína Cas-9, hoy es posible modificar el genoma de cualquier organismo a voluntad. Se trata probablemente del mayor logro científico del siglo XXI con enormes posibilidades tecnológicas y también económicas, desde la protección de cultivos frente a condiciones extremas

(sequía, salinidad) hasta la cura de enfermedades de origen genético (anemia drepanocítica, enfermedad de Huntington).

La Figura 9 prueba la velocidad con la que este descubrimiento científico, que hasta hace solo unos pocos años era objeto de estudio académico en los laboratorios de las mejores universidades, ha comenzado a generar patentes. Precisamente son estas patentes, las primeras que protegen esta nueva tecnología, las más importantes y la base sobre las que se están creando empresas que intentan comercializar distintas aplicaciones de CISP-R-Cas9. De la misma forma, el crecimiento del mercado de la edición genética (una tecnología basada en una serie de descubrimientos científicos realizados fundamentalmente en la última década) está creciendo de forma vertiginosa, especialmente en América del Norte, Europa y Pacífico-Asia (Figura 10). Pocas

FIGURA 11
GASTO GLOBAL EN CIBERSEGURIDAD



Fuente: AustCyber, 2019. Gasto global en ciberseguridad. Gasto hasta 2019 y proyección en soluciones de seguridad para prevenir brechas dentro de las organizaciones (internas) y amenazas externas.

veces en la historia un avance científico ha dado lugar a un nuevo mercado de forma tan rápida.

La edición genética plantea numerosos desafíos, entre ellos los éticos y regulatorios, pero presenta también numerosas oportunidades. Las bases de esta tecnología se establecieron en España con los trabajos pioneros del profesor Francis Mójica; se trata, por lo tanto, de una oportunidad excelente para que nuestro país lidere una nueva tecnología en la que hemos tenido una posición de liderazgo. En 2020 el premio Nobel de química fue otorgado a la francesa Emmanuelle Charpentier y a la estadounidense Jennifer Doudna por sus contribuciones al desarrollo del CRISPR-Cas9. Más allá de los premios, España debe desarrollar una estrategia nacional de edición genética que nos permita liderar una tecnología cuyas bases científicas se pusieron en nuestro país.

Ciberseguridad

La digitalización de la economía, la explosión en la cantidad de información digital compartida y almacenada y la importancia de este contenido custodiado en servidores alrededor del mundo, ha dado lugar a una nueva industria – basada en una serie de tecnologías de encriptación segura – destinada a proteger esta información de posibles ataques, robos y usos espurios. Una referencia sobre el crecimiento exponencial de esta nueva industria se puede apreciar en la Figura 11. Año tras año, el gasto

en ciberseguridad (tanto interno como externo) aumenta a un ritmo creciente. Solo entre 2017 y 2026, se espera que este gasto (inversión) aumente en un 86 %, lo que representa un valor adicional de 125 mil millones de dólares.

Nuestro país cuenta con numerosos grupos de investigación en ciberseguridad, algunos de reconocidos internacionalmente, repartidos prácticamente por toda la geografía española (Figura 12). Destaca muy notablemente Madrid, ya que en esta Comunidad Autónoma existen 25 grupos de investigación que trabajan en distintos aspectos de la ciberseguridad, desde el desarrollo de nuevo software al diseño de hardware específico. Su trabajo representa una de las fortalezas de nuestro sistema de innovación, por el alcance de esta tecnología y por su aporte para el desarrollo de otras, como inteligencia artificial, *blockchain* e internet de las cosas, por citar solo unas pocas. Esto indica la oportunidad que representa para nuestro país.

Recientemente, España perdió la oportunidad de albergar el Centro Europeo de Ciberseguridad en Leon, unas instalaciones que irán finalmente a Budapest. Más allá de los errores que se hayan podido cometer en este sentido, nuestro país tiene suficientes fortalezas para liderar uno de los sectores de mayor crecimiento e importancia geoestratégica de nuestro tiempo, según un estudio sobre el panorama de la ciberseguridad en España. [8] De acuerdo con este informe, tenemos organismos públicos eficaces

FIGURA 12
EQUIPOS DE INVESTIGACIÓN EN CIBERSEGURIDAD EN ESPAÑA



Fuente: Informe 10 Tecnologías para Impulsar España (2020)

contra el cibercrimen y nuestras grandes empresas están tomando medidas para protegerse de ataques digitales, pero casi 3 millones de empresas de nuestro país están poco o nada protegidas contra hackers. Y las más vulnerables son precisamente las pequeñas y las medianas empresas, entre otros factores porque no perciben los ciberataques como un riesgo real. De hecho, solo un 36 % de las pymes encuestadas para este estudio manifestaron disponer de protocolos básicos de seguridad, como la verificación de dos pasos para el correo de empresa. La ciberseguridad es, sin duda, una gran oportunidad para nuestro país, pero no una opción para las empresas que desarrollan su actividad en la red y que se ven expuestas a un número creciente de ataques, algunos con graves consecuencias para su negocio y sus clientes.

Internet de las cosas

Una de las tecnologías más integradoras es internet de las cosas, ya que combina y construye sobre otras afines, como la digitalización, la miniaturización y las nuevas tecnologías de la comunicación. Conectar dispositivos en la red de forma inteligente y útil representa una oportunidad excepcional con infinitud de aplicaciones. Una de las áreas en las que el internet de las cosas ha permitido mejorar la rentabilidad y la sostenibilidad es la agricultura. [9] Esto es especialmente importante porque en los próximos años serán necesarias 120 millones de hectáreas adicionales para el cultivo de alimentos que permitan dar de comer a la creciente población de los países en desarrollo. Gracias a la combinación de sensores in-

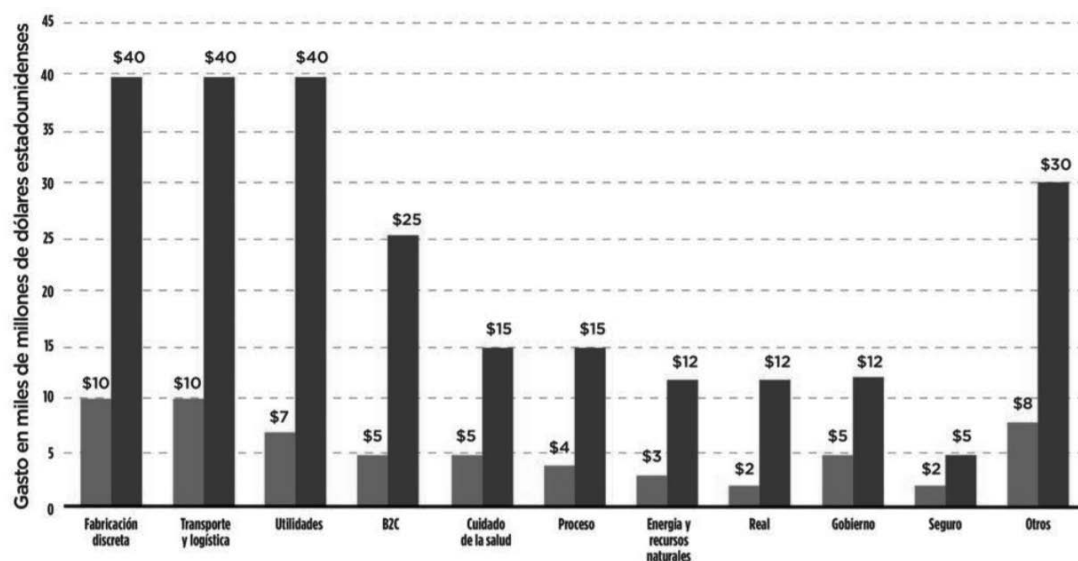
teligentes, antenas, receptores y análisis de datos ya es posible mejorar sensiblemente la productividad de los campos, reduciendo a la vez la necesidad de agua y fertilizantes. Este ha sido el objetivo del acuerdo entre Telefónica y la FAO, que permitirá la monitorización, acceso a datos y análisis de información de zonas rurales en vías de desarrollo. [10]

El crecimiento en el gasto mundial en internet de las cosas entre el año 2015 y el 2020 es realmente notable (Figura 13). En la mayoría de los sectores, el crecimiento en solo un lustro es superior al 400 %, pero en alguno de ellos el crecimiento es incluso mayor, con un valor total superior a los 250.000 millones de dólares.

Toda esta inversión ha hecho posible que un gran número de productos, servicios y operaciones hayan incluido el internet de las cosas en su funcionamiento (Figura 14). Gracias a esta nueva tecnología han mejorado notablemente su valor diferencial, capacidad y rendimiento. La adopción de esta tecnología, tanto en productos y servicios como en las operaciones internas de las empresas, ha sido muy rápida. Entre 2013 y 2020, el grado de adopción de internet de las cosas ha pasado de la planificación a la implementación temprana.

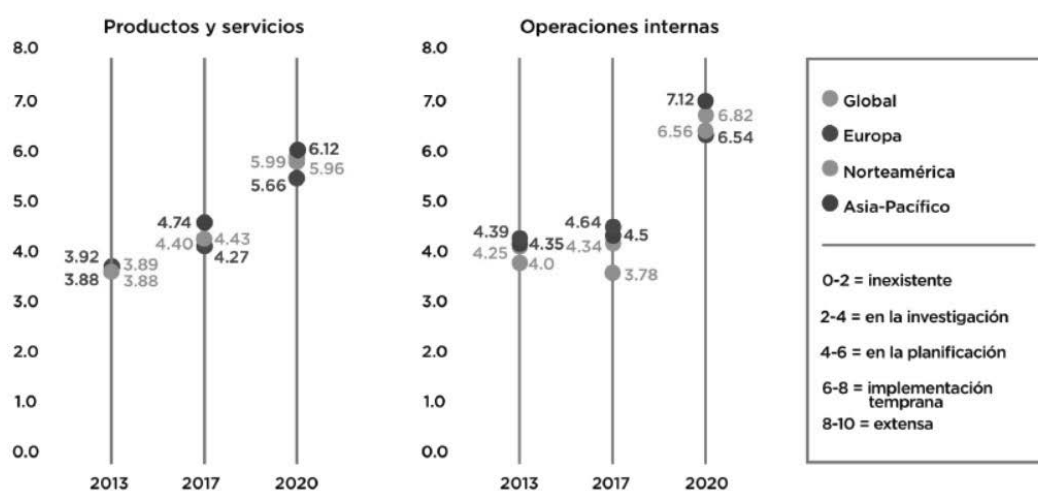
España es el quinto país en inversión en internet de las cosas, según el informe realizado por *EAE Business School*. [11] Según este mismo informe, el mercado de internet de las cosas va a crecer hasta los 23 millones de euros. Aunque representa una cantidad pequeña en comparación con otros sectores, se prevé de un crecimiento anual del 18 %. Esto es

FIGURA 13
GASTO MUNDIAL EN INTERNET DE LAS COSAS POR SECTOR EN MILES DE MILLONES DE DÓLARES. DATOS DE 2015 Y PROYECCIÓN PARA 2020



Fuente: Statista (2020)

FIGURA 14
PROGRESO DE LA ADOPCIÓN EN EL INTERNET DE LAS COSAS



Fuente: The Economist Intelligence Unit (2020)

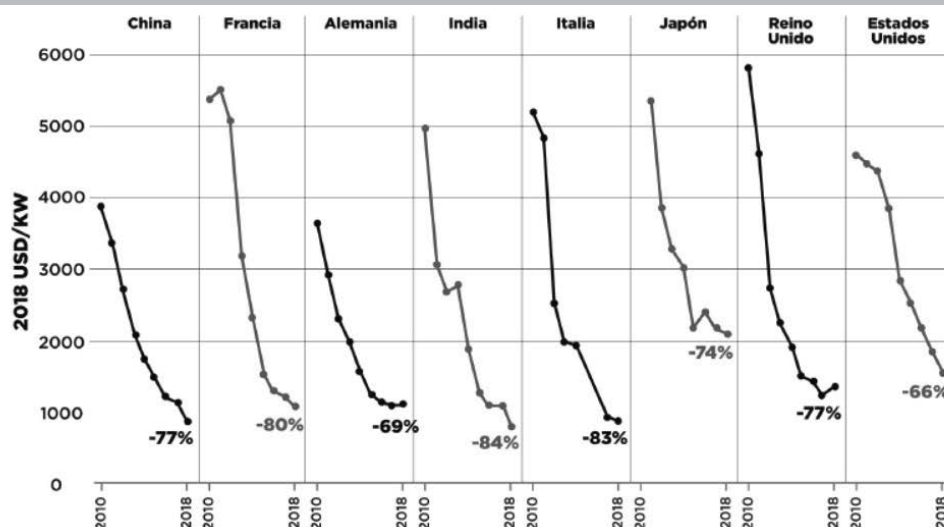
posible gracias al enorme incremento en el número de consumidores que usan dispositivos conectados a internet, que el último año creció en un 66 %.

Materiales fotoactivos avanzados ▼

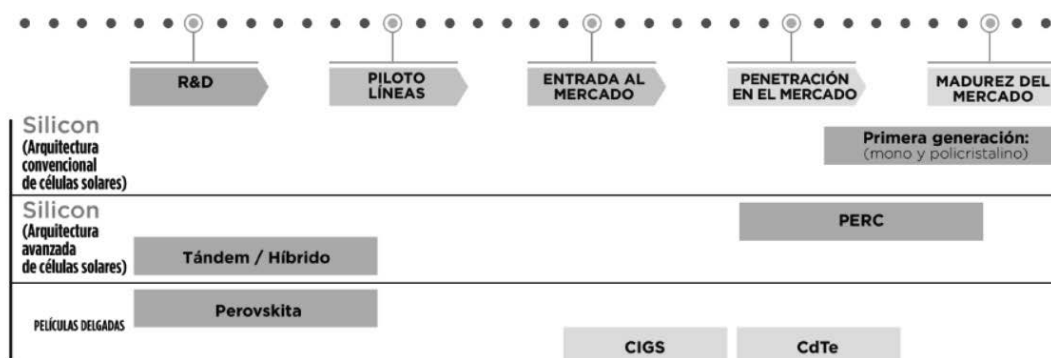
La espectacular caída en el precio del kilovatio/hora de la energía solar fotovoltaica (Figura 15) ha sido posible gracias a distintos factores. Entre ellos se encuentran, sin duda, las economías de escala, una regulación favorable y las ayudas directas e indirectas. Pero no podemos olvidar las mejoras muy notables en eficiencia que han sido posibles gracias

al desarrollo de nuevos materiales fotoactivos. [12] Si en los próximos años queremos evolucionar de las celdas solares basadas en el silicio policristalino (que presenta notables limitaciones tanto técnicas como medioambientales), a otras alternativas más eficientes y sostenibles, debemos seguir desarrollando materiales como los que se presentan en la Figura 16.

Algunos de ellos, como las perovskitas (que han dado unos resultados extraordinarios en cuanto a eficiencia pero que son menos estables que el silicio) están todavía en un estadio temprano de comercialización. Sin embargo, semiconductores como el

FIGURA 15
 COSTO TOTAL INSTALADO A ESCALA COMERCIAL


Fuente: IRENA (2019). Solar fotovoltaica a escala, países seleccionados, 2010 -2018.

 FIGURA 16
 ESTADO DE LA TECNOLOGÍA FOTOVOLTAICA SOLAR


Fuente: Informe 10 Tecnología para Impulsar España (2020). CIGS - diselenuro de cobre - indio - galio; Cdte - telururo de cadmio. PERC- emisor pasivado y celda trasera / contacto.

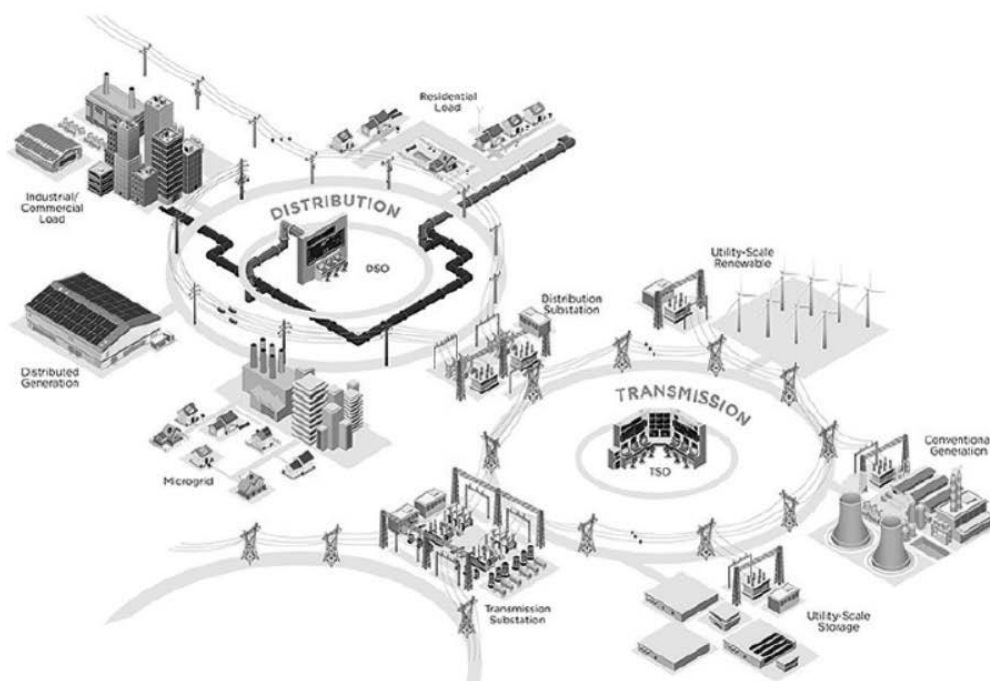
telururo de cadmio, representan una tecnología mucho más madura y cercana al mercado (Figura 16).

Entre las fortalezas que presenta España en este sector destaca el elevado número de grupos de investigación realmente punteros que están desarrollando nuevos materiales fotoactivos y las nuevas generaciones de paneles solares. Sin embargo, nuestro país no fabrica plantas solares a gran escala, sector que lidera China vía precio. Como ocurre en otras tecnologías, nuestra asignatura pendiente es la traslación del conocimiento generado al mercado. El crecimiento de la implantación de la energía solar en nuestro país, y en países de nuestro entorno, representa una oportunidad para posicionarnos como un actor diferenciado, centrado en nuevas soluciones, más eficientes y sostenibles. [13] De la misma manera, la gestión de las plantas solares representa también una oportunidad para otras tecnologías,

algunas de ellas descritas en este trabajo, para optimizar su actividad y rentabilidad, desde el internet de las cosas a la energía distribuida.

En España no se fabrican placas solares de manera industrial y masiva. Hay empresas que tratan de abrirse un hueco con iniciativas diferenciadas frente a la feroz competencia china, pero sobre toda la actividad en este campo se dedica a la instalación, ensamblaje de algunos componentes y mantenimiento. Y a la gestión de granjas fotovoltaicas, es decir a la explotación de la tecnología instalada. Sin embargo, sí se están desarrollando procesos punteros de investigación, que podrían llevar directamente a la nueva generación de captadores de energía solar, más allá de los procesos basados en el módulo de silicio que todavía domina el mercado y seguirá haciéndolo en los años inmediatos.

FIGURA 17
ESQUEMA DE UN SISTEMA DISTRIBUIDO INTEGRADO POR MICRORREDES RESIDENCIALES Y COMERCIALES, GENERACIÓN TRADICIONAL, SISTEMAS DE ALMACENAMIENTO Y OPERADORES DE DISTRIBUCIÓN Y TRANSMISIÓN



Fuente: Medium (2020)

Energía distribuida

La energía distribuida aúna una serie de tecnologías que permiten integrar la producción, generación y uso de la energía en un espacio reducido. Pero sobre todo es una nueva forma de entender nuestra relación con la energía. A través de ella, productor y consumidor tienen una vinculación mucho más estrecha, e idealmente se trata de la misma persona. De esta forma es posible mejorar la eficiencia y gestión energéticas y reducir las pérdidas por transporte y almacenamiento.

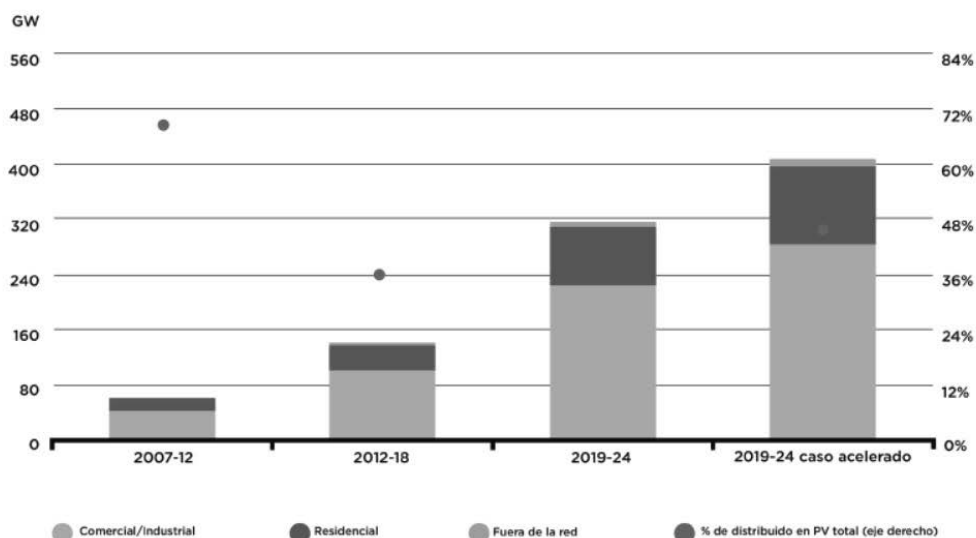
En la Figura 17 se muestra un esquema de la energía distribuida que contiene la generación (aerogeneradores), conversión (subestación de transformación), distribución (integración en la red) y finalmente uso de la energía (comercial, industrial y doméstico). De esta forma, mediante la integración de todos los eslabones que constituyen el sistema eléctrico, se mejora la eficiencia y se reducen notablemente las pérdidas. Además, y gracias a los avances en materiales fotoactivos que hemos comentado y a los aerogeneradores modulares, cada vez es más frecuente que el consumidor genere también, al menos, parte de la electricidad que consume, lo que favorece un uso más consciente y responsable de la energía.

La reducción en el coste del kilovatio•hora de la energía fotovoltaica a la que nos hemos referido anteriormente, distintos programas de fomento de las energías renovables y a la disponibilidad de uni-

dades modulares, ha favorecido la instalación de paneles solares y con ello la energía fotovoltaica distribuida. En la Figura 18, se muestra la evolución desde el año 2007 de energía fotovoltaica distribuida por sectores. En poco más de una década, la capacidad instalada se ha multiplicado en más de cinco veces. El sector que más se ha beneficiado de esta nueva tecnología es el industrial/comercial, pero el residencial ha sido el que ha crecido a mayor ritmo gracias a los avances en los módulos y paneles solares.

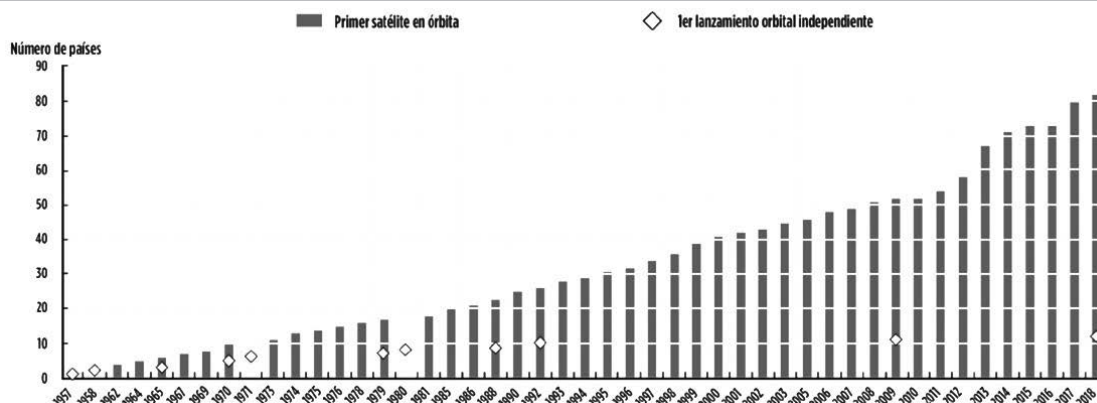
España puede jugar un papel muy importante en la generación de energía distribuida. Sin embargo, hasta muy recientemente, una legislación adversa no favorecía su desarrollo en nuestro país. Con la aprobación del Real Decreto 244/2019 se abre una nueva posibilidad. [14] Por un lado, el objetivo de este nuevo marco regulatorio es «impulsar que el autoconsumo se realice con generación distribuida renovable», lo que está en línea con el desarrollo de la energía distribuida y el crecimiento de la generación y consumo de energías renovables. Una de las principales ventajas de este Real Decreto es que establece «que la energía autoconsumida de origen renovable, cogeneración o residuos, estará exenta de todo tipo de cargos y peajes». Esto supone un cambio muy importante y positivo respecto a la situación anterior. Según Mercedes Blanco, de Fincas Blanco, especialista en administración de fincas, «la instalación de un sistema fotovoltaico permite reducir drásticamente la factura eléctrica en torno a un 50 %».

FIGURA 18
CAPACIDAD DE CRECIMIENTO GLOBAL EN ENERGÍA FOTOVOLTAICA DISTRIBUIDA POR SEGMENTOS



Fuente: International Energy Agency (2019)

FIGURA 19
NÚMERO DE PAÍSES CON UN SATÉLITE EN ÓRBITA (LANZADO A TRAVÉS DE UN TERCERO O DE FORMA INDEPENDIENTE), ENTRE EL AÑO 1957 Y ABRIL DE 2018. NÚMERO DE PAÍSES QUE HAN LANZADO UN COHETE CON ÉXITO



Fuente: IRENA (2019)

Animadas por esta oportunidad, numerosas empresas, comunidades y familias han instalado paneles solares que les permiten ahorrar a la vez que contribuyen a la lucha contra el cambio climático. De hecho, la Agencia Internacional de la Energía pronostica que la energía fotovoltaica tendrá un crecimiento muy importante entre 2019 y 2024, un periodo en el que se espera que la capacidad de las renovables aumente en un 50 %. [15]

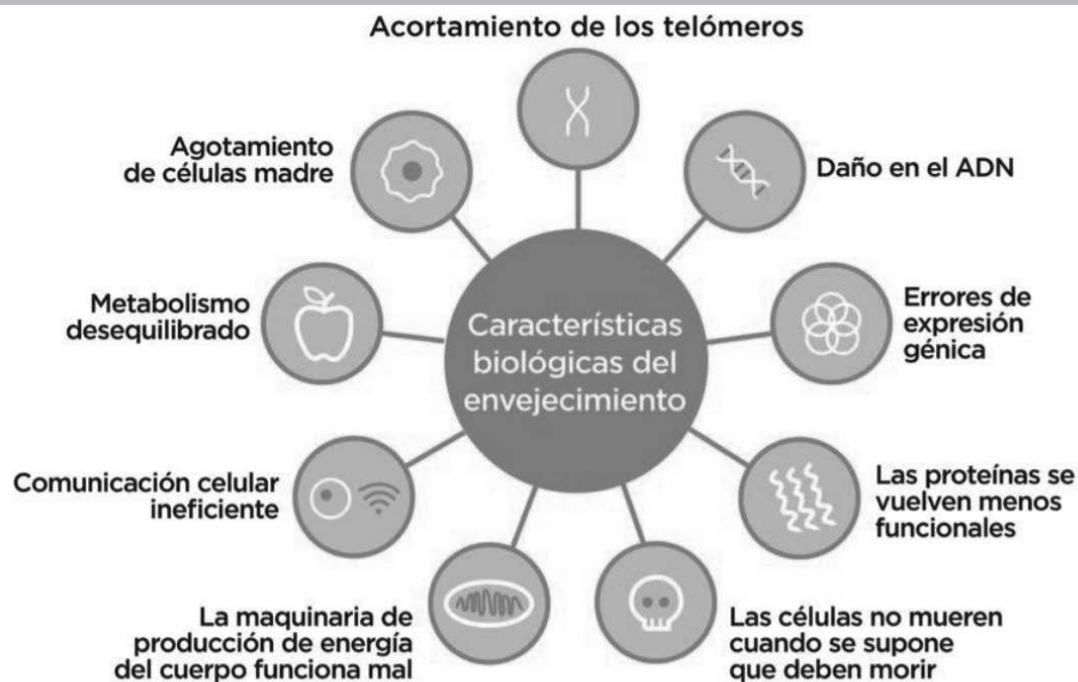
Datos de satélite para toma de decisiones

La expansión e implantación generalizada de internet y la digitalización de prácticamente todos los sectores productivos, han favorecido el uso de todo tipo de satélites que proporcionan datos claves para

la comunicación, geolocalización y toma de decisiones.

Desde la guerra fría, cuando las superpotencias luchaban por dominar el espacio, tener un satélite en órbita proporciona una ventaja tecnológica muy importante al país que lo posee. Por esta razón, el crecimiento en el número de naciones que tienen un satélite ha crecido rápidamente. En la Figura 19 puede observarse como desde los años 50 hasta 2010 este crecimiento ha sido prácticamente lineal; pero, a partir de esa fecha, el ritmo de crecimiento se ha disparado. A día de hoy, más de 80 países cuentan con al menos un satélite en órbita y más de 10 tienen tecnología capaz de poner satélites en el espacio.

FIGURA 20
RASGOS ASOCIADOS AL ENVEJECIMIENTO



Fuente: *Cell*, 153(6), 1194-1217 (2013)

Las aplicaciones de la tecnología satelital son innumerables. No sólo juega un papel importante en la adquisición de imágenes terrestres desde el espacio, los satélites son también fundamentales para retransmitir señales, la comunicación en red, el seguimiento aerospacial, el posicionamiento y la localización y, por supuesto, el estudio del universo. Muchas de estas aplicaciones están en la base de nuevas industrias, desde la tecnología móvil a los sistemas GPS. Por todo ello, cada vez son más los países, empresas y organizaciones que cuentan con satélites.

En España existe un dinámico ecosistema de innovación y emprendimiento en este sector, que da servicio a empresas, administración y organizaciones no gubernamentales. Esto ha sido posible gracias a que cada vez es más sencillo y barato contar con datos satelitales, en parte, debido a nuevos avances en el diseño de satélites más pequeños, eficaces y accesibles. Y si bien es cierto que esto representa algunos problemas no menores, como es el caso de la basura espacial, los nuevos satélites han propiciado el desarrollo de numerosas *start-up* en este sector. En este sentido, cabe destacar el caso de la primera empresa española que ha sido capaz de poner un microsatélite en órbita, la catalana *Zero 2 Infinity*, gracias al uso de una nueva tecnología, basada en globos aerostáticos de gran altura, que permite poner satélites de pequeño tamaño en la órbita terrestre baja [16]

España es un país líder en ciencias del espacio. No solo es uno de los países fundadores de la Agencia

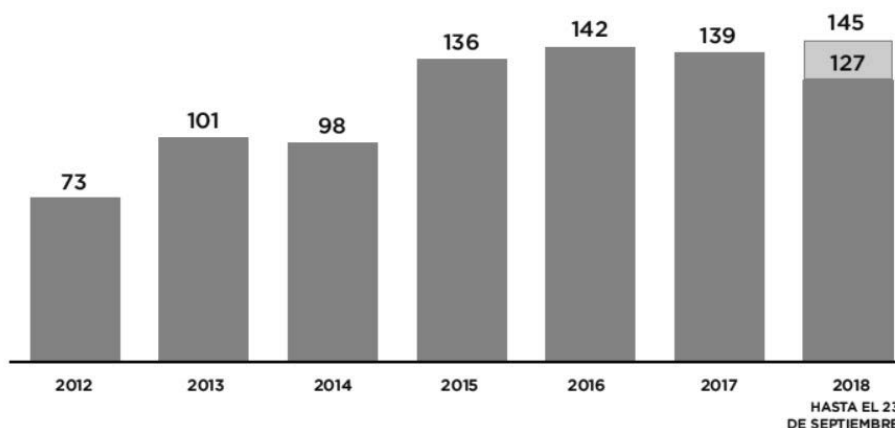
Espacial Europea y el quinto en contribución total en Europa espacial, sino que además cuenta con importantes instalaciones, como la que se encuentra en Robledo de Chavela. Dentro de España, destaca la Comunidad de Madrid que reúne el 90 % de la actividad espacial que se desarrolla en nuestro país y donde se está construyendo uno de los Centros de Vigilancia de Seguridad de Galileo. Sin duda, la fortaleza de nuestro sector espacial representa una excelente oportunidad para el desarrollo de las nuevas tecnologías satelitales, y en concreto la utilización de los datos de satélites, que permiten el avance de otras muchas industrias.

De los 867 millones de euros que facturaron en 2018 las empresas de actividades espaciales, 607 millones se corresponden a la fabricación y lanzamiento de satélites. [17] Entre las distintas *start-up* españolas que trabajan en este campo podemos destacar el caso de *Satelliot*, con sede en Barcelona que, a finales de 2020, recibió la aprobación de la Unión Internacional de Telecomunicaciones para lanzar una constelación de nanosatélites para dar servicio de empresas dedicadas al internet de las cosas.

Nuevas tecnologías para combatir el envejecimiento ▾

España cuenta con una de las poblaciones más envejecidas del mundo y esta tendencia va a seguir creciendo a medida que aumente nuestra esperanza de vida con tasas de fertilidad muy bajas. El paso del tiempo ocasiona una serie de transformaciones morfológicas y fisiológicas que tienen importantes

FIGURA 21
ENSAYOS CLÍNICOS DIRIGIDOS AL ENVEJECIMIENTO



Fuente: CB Insights (2018). Datos tomados de *Clinical Trials*. Azul claro indica que los ensayos están programados para comenzar en 2018 pero que aún no han comenzado.

consecuencias en nuestra calidad de vida y capacidad para llevar a cabo distintas tareas. En la Figura 20 se muestran algunos de los principales rasgos asociados al envejecimiento de los seres vivos. Entre ellos destacan los cambios genéticos (daños en el ADN, acortamiento de los telómeros y errores de la expresión genética), las modificaciones celulares (comunicación deficiente, agotamiento de las células madres y que las células no se mueran cuando corresponde) y, finalmente, procesos a nivel molecular, como problemas en la producción de energía, un metabolismo desequilibrado o la fabricación de proteínas menos funcionales. Todos estos rasgos fisiológicos y moleculares constituyen oportunidades para reducir el envejecimiento y, especialmente, las consecuencias no deseadas asociadas al paso del tiempo. Muchos grupos de investigación de todo el mundo trabajan, desde distintas aproximaciones, para mejorar nuestra calidad de vida a una edad avanzada.

Esta investigación, en la que trabajan a algunos de los mejores científicos del mundo, ya ha salido del laboratorio. De hecho, ya se está estudiando en distintos ensayos clínicos para su aplicación en humanos. En la Figura 21 podemos observar cómo, desde el año 2012, existen decenas de ensayos clínicos sobre distintas técnicas contra el envejecimiento. Este número está creciendo rápidamente hasta el punto de que en sólo 6 años el número de ensayos clínicos se ha duplicado.

Nuestro país destaca en investigación en biotecnología y biomedicina. En 2017, el 12 % de la inversión en I+D+i de España se dedicó a este sector, clave para nuestro sistema de salud y distintas empresas, muchas de ellas aún *start-ups*, me han nacido en algunos de nuestros laboratorios. Entre los centros de investigación de nuestro país más destacados en este sector se encuentran el Centro Nacional de Biotecnología, el Centro de Biología Molecular Seve-

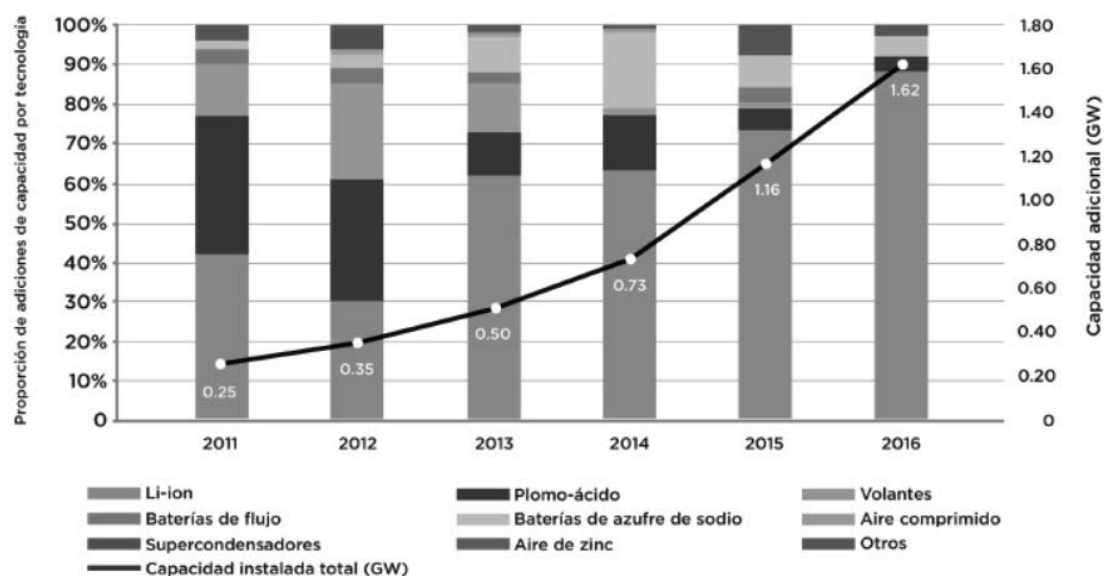
ro Ochoa y el Centro Nacional de Investigaciones Oncológicas, todos ellos de gran prestigio a nivel internacional. Precisamente de éste último, salió la empresa de base tecnológica *Life Length*, S.L. que fue establecida por la doctora María Blasco, la Fundación Botín y *Matlin Associates*. Esta spin-off del CNIO permite medir con gran precisión la longitud de los telómeros, que juegan un papel muy importante para evitar el envejecimiento de las células y los organismos.

Energías renovables

Las energías renovables constituyen una parte importante del mix energético de la mayoría de los países desarrollados. Sin embargo, el desfase entre la producción (oferta) y el uso (demanda) de la energía supone un reto muy importante ya que la generación de electricidad eólica y solar (que ya suponen una fracción muy significativa de la producción de muchos países) no coincide con el momento de mayor demanda. Por todo ello es muy importante contar con sistemas de almacenamiento de corriente eléctrica que nos permitan generalizar el uso de las energías renovables sin causar desfases importantes entre la oferta y la demanda de electricidad en la red.

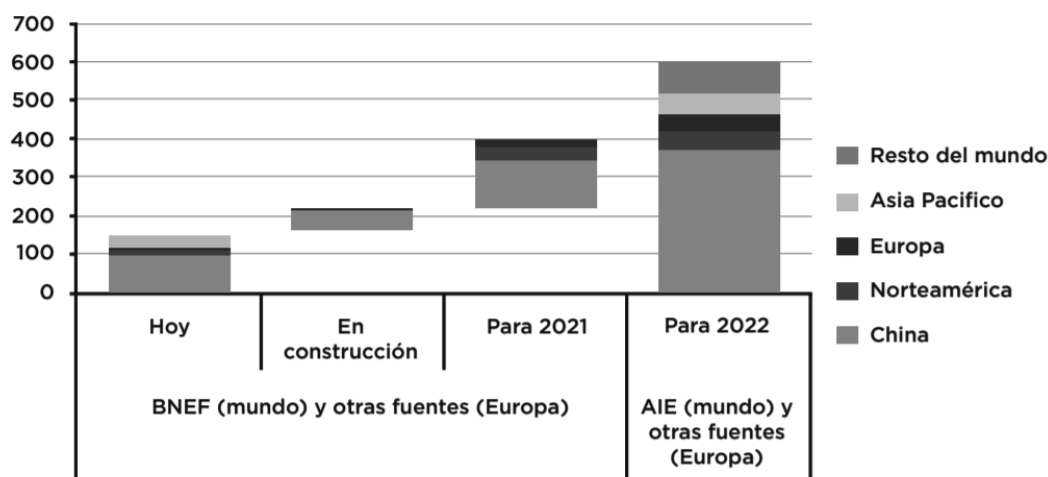
En la Figura 22 se muestra el crecimiento exponencial de la Capacidad global añadida por tipo de tecnología de almacenamiento y año. En primer lugar, podemos ver cómo en apenas 5 años esta capacidad ha aumentado en más de siete veces, especialmente gracias al uso de las baterías de ion-litio, que en 2016 ya representaban más de 80 % de la capacidad de almacenamiento. Otras tecnologías menos sostenibles, como las basadas en plomo-ácido, están siendo rápidamente reemplazadas por otras con menor impacto medioambiental. En todo caso, nuestra dependencia de elementos escasos, concentrados en algunas regiones del

FIGURA 22
EVOLUCIÓN DE LAS PRINCIPALES TECNOLOGÍAS DE ALMACENAMIENTO ELECTROQUÍMICO. CAPACIDAD GLOBAL AÑADIDA POR TIPO DE TECNOLOGÍA Y AÑO



Fuente: IRENA (2019)

FIGURA 23
CRECIMIENTO DE FABRICACIÓN DE BATERÍAS DE ION-LITIO. CAPACIDAD DE PRODUCTOS PARA ALMACENAMIENTO A GRAN ESCALA Y VEHÍCULOS ELÉCTRICOS, POR REGIONES



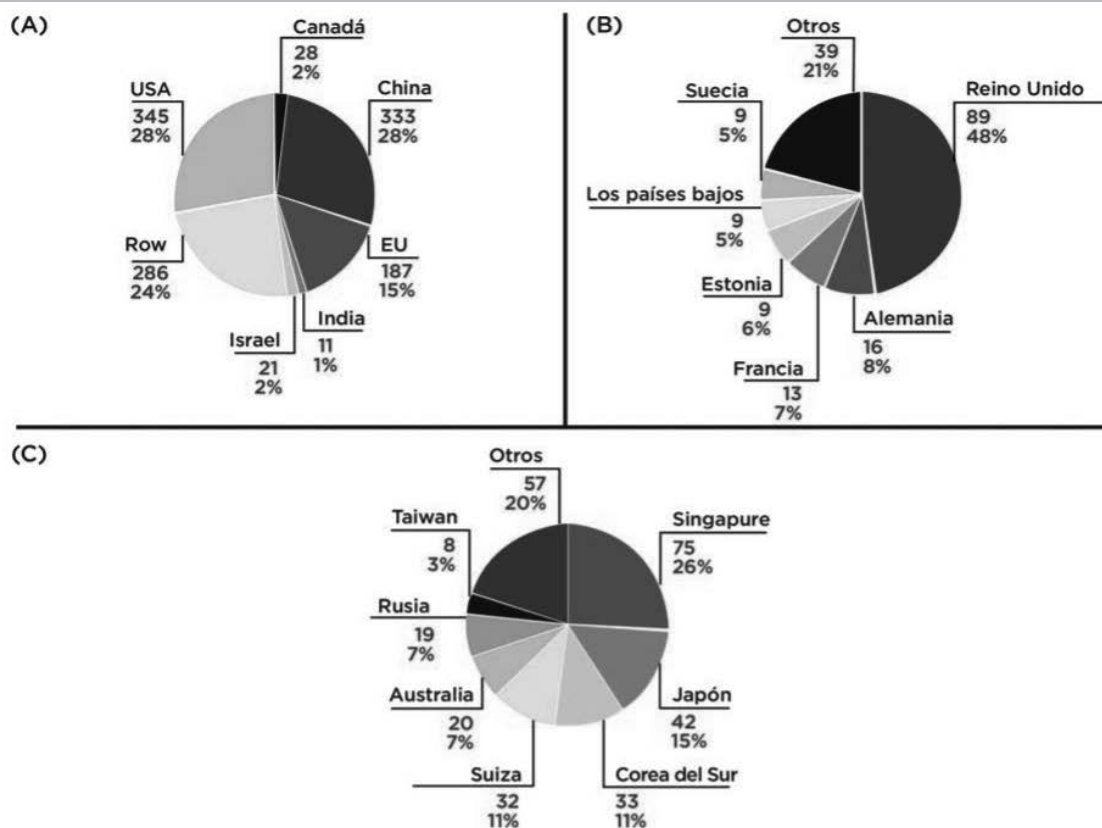
Fuente: Centro Común de Investigación (2019)

planeta, representa uno de los grandes desafíos del almacenamiento electroquímico de energía.

La electrificación de ciertos sectores, especialmente de la automoción, suponen una oportunidad excepcional para el desarrollo de nuevas tecnologías de almacenamiento de electricidad en sistema ligeros y móviles. Por todo ello, se espera que la producción de las baterías de ion-litio crezca notablemente en los próximos años. En la Figura 23, se muestra la proyección de crecimiento de esta tecnología hasta el año 2022. Destaca la posición de China en la fa-

bricación de estos sistemas y la rápida evolución de una nueva industria basada en almacenar y transportar corriente eléctrica. Estos sistemas dependen del acceso a un recurso relativamente limitado, el litio. En este sentido, España cuenta con importantes reservas de carbonato de litio en Cáceres. Se estima que el yacimiento de Las Navas cuenta con más de 1,6 millones de toneladas de este mineral estratégico. En diciembre de 2020, la empresa australiana *Infinity Lithium* consiguió un permiso de exploración en esta mina, lo que representa un paso importante para poder explotar este proyecto que podría ge-

FIGURA 24
DISTRIBUCIÓN POR EMPRESAS DE BLOCKCHAIN CREADAS ENTRE 2009 Y 2018 EN A) ACTORES INTERNACIONALES MÁS RELEVANTES B) UE C) RESTO DEL MUNDO



Fuente: Venture Source – Dow Jones (2018)

nerar litio suficiente para 10 millones de vehículos eléctricos. Pero producir litio, no nos coloca en la posición de liderazgo tecnológico necesario para mejorar la competitividad de nuestra economía. Y es que la automoción representa el 8,6 % de nuestro PIB y da empleo al 9 % de la población activa de nuestro país. La batería es el componente más caro y con el mayor valor añadido de un coche eléctrico. Por eso es tan importante que lideremos el futuro de la automoción, y ese futuro es eléctrico.

Blockchain

El desarrollo de la tecnología blockchain en distintas industrias ha sido muy notable, especialmente en los países que apostaron tempranamente por la digitalización. Esta es la tecnología que está detrás de bitcoin y el resto de criptomonedas. También da seguridad a todo tipo de transacción en la red y muy especialmente a la acreditación de identidad de objetos, de forma que impide la alteración de información por parte de un solo individuo. También las fintech dependen en buena parte de la capacidad de blockchain de asegurar las transacciones financieras seguras. En Europa distintos países han comenzado a usar blockchain para mejorar la atención a sus ciudadanos. Por ejemplo, en Suiza

se utiliza para votaciones locales, en Suecia existe un registro de propiedad inmobiliaria asegurada mediante blockchain y Estonia protege una base de datos con los historiales médicos de sus ciudadanos. Las aplicaciones de esta tecnología de registro distribuido son innumerables.

La Figura 24 nos muestra las principales potencias en *blockchain* durante el periodo 2009-2018. Entre ellos destacan a nivel global China, EEUU y la Unión Europea. Entre los tres suman más del 70 % de todas las empresas de *blockchain* creadas en esa década. Dentro de la Unión Europea, el Reino Unido – de la que era miembro hasta 2021 – representa casi la mitad de todas las empresas de *blockchain* con una distribución mucho más homogénea entre el resto de los países.

La tecnología *blockchain*, que permite compartir información de forma segura, se ha implementado en una gran variedad de procesos. Así, ya en 2019, numerosas industrias utilizan esta tecnología en sus procesos, servicios y productos. En la Figura 25 aparecen estas industrias organizadas según el grado en el que han adoptado la tecnología *blockchain* y por la fortaleza del mercado en el que desarrollan su actividad. El análisis de estas industrias, como la

FIGURA 25
TENDENCIAS EMERGENTES EN TECNOLOGÍAS BLOCKCHAIN. GRADO DE MADUREZ DE APLICACIONES DE REGISTRO DISTRIBUIDO



Fuente: CB Insights (2019)

minería de bitcoin o los intercambios de custodia *fiat-crypto* nos dan pistas sobre nuevas oportunidades de crecimiento económico.

España superará los 120 millones de euros de inversión *blockchain* en 2020; una cifra que aumentará en un 50 % en los próximos cuatro años. [18] Algunos de los principales bancos están explorando, invirtiendo y, hasta cierto punto, utilizando la tecnología *blockchain* para ofrecer nuevos productos. Por ejemplo, BBVA, Santander, CaixaBank y Bankia han invertido en start-up que desarrollan esta tecnología, financiado la investigación en distintos aspectos de *blockchain*, participando en empresas líderes del sector, o llevado a cabo pruebas de conceptos en algunos servicios del banco. Este interés no está basado únicamente en la reducción de costes, mejora de la seguridad y desarrollo de nuevos productos, sino también por el rápido crecimiento de empresas de *fintech* que ofrecen servicios financieros online y que representan una competencia directa, ágil y eficaz.

La implementación de la tecnología *blockchain* en la Administración española es todavía muy incipiente. Sin embargo, existen algunos esfuerzos pioneros como los registros distribuidos que ha puesto en marcha el Gobierno de Aragón para tramitar licitaciones públicas y la Estrategia *Blockchain* que ha lanzado la Generalitat Catalana para desarrollar en su territorio las soluciones basadas en esta tecnología. La Agenda España Digital, aprobada en julio de 2020 por el Gobierno de España, [19] establece las tec-

nologías *blockchain* como una de las tecnologías prioritarias para la mejora de los servicios que ofrece la Administración a los ciudadanos; en concreto «la creación de servicios públicos personalizados e innovadores que se puedan enmarcar en actuaciones europeas, participando con los Estados miembros de la Unión Europea en proyectos como el *European Blockchain Services Infrastructure*».

La tecnología *blockchain* está creando nuevas oportunidades y mejores servicios tanto en el sector público como en el privado. El registro distribuido de contenidos incrementa la seguridad de la transmisión de información digital, lo que ha permitido desarrollar nuevos negocios como las criptomonedas o reinventar otros tradicionales como la banca. España tiene importantes fortalezas en este sector que, a su vez, representan una oportunidad excepcional para mejorar nuestra competitividad en otros relacionados, como la inteligencia artificial o el internet de las cosas. Y también para mantener nuestra ventaja en algunos sectores tradicionales. [20]

CONCLUSIONES ↓

En este trabajo se han presentado, analizado y puesto en contexto diez tecnologías emergentes, situadas en la frontera de la innovación, que han sido seleccionadas por un panel de expertos con el objetivo de que contribuyan a mejorar la competitividad de nuestro sistema productivo. Nos encontramos en un momento clave, tanto por el impacto social y económico provocado por la pandemia, como por

la oportunidad que representan los fondos europeos para transformar nuestro sistema de innovación. Este ejercicio de prospectiva es un intento de concretar un plan de acción que nos sirva para dar el paso desde la innovación como objetivo a una hoja de ruta con objetivos, acciones y evaluación concretos. Estas tecnologías comprenden un gran abanico de oportunidades que cubren aspectos relacionados con la digitalización de nuestra economía, la salud y la transición energética. Todos estos aspectos son fundamentales para construir un país más resiliente, que esté mejor preparado para un tiempo cada vez más volátil donde la incertidumbre y la interconectividad van a jugar un papel importante. Los países que desarrollen e implementen tecnologías capaces de resolver los grandes retos de nuestro tiempo van a ser protagonistas de su propio destino, frente aquellos que dependen de otros para solucionar sus propios problemas. «Que inventen ellos» nunca ha sido una opción, pero mucho menos ahora que la tecnología define nuestra economía, nuestros empleos y, en muchos sentidos, aspectos importantes de nuestras vidas.

Los fondos europeos representan una oportunidad histórica para mejorar la competitividad de nuestra economía en un momento en el que ha vuelto a quedar de manifiesta la debilidad y exposición de nuestro sistema productivo. Parte del éxito de esta oportunidad depende de elegir bien y priorizar la inversión. Las diez tecnologías que se han descrito en este breve capítulo, y que son el resultado del análisis de los expertos de la Cátedra de Ciencia y Sociedad de la Fundación Rafael del Pino y que se presentan en su informe de 2020, representan una oportunidad para que inventemos nosotros, de forma que seamos dueños de nuestro futuro, en vez de depender de otros para solucionar los problemas a los que nos enfrentamos.

REFERENCIAS

- [1] *Top 10 Emerging Technologies*. World Economic Forum <https://www.weforum.org/reports/top-10-emerging-technologies-2020>
- [2] Cátedra Ciencia y Sociedad de la Fundación Rafael del Pino <https://frdelpino.es/ciencia-y-sociedad/>
- [3] *Competitiveness Index 4.0*. Foro Económico Mundial (2019).
- [4] *Atlas of economic complexity*. Universidad de Harvard. <https://atlas.cid.harvard.edu/rankings>
- [5] Informe COTEC. Fundación COTEC para la innovación (2020) <https://cotec.es/tag/informe-cotec/>
- [6] *The AI Index 2018 Annual Report*. Universidad de Stanford (2018) https://hai.stanford.edu/sites/default/files/2020-10/AI_Index_2018_Annual_Report.pdf
- [7] Fundación ELLIS Alicante: <https://ellisalicante.org/es/>
- [8] Panorama actual de la ciberseguridad en España, Una perspectiva desde las Pymes, sociedad civil y administración pública. The Cocktail Analysis (2020) [https://www.ospi.es/export/sites/ospi/documents/documentos/Seguridad-y-privacidad/Google_Panorama-ac-](https://www.ospi.es/export/sites/ospi/documents/documentos/Seguridad-y-privacidad/Google_Panorama-ac-tual-de-la-ciberseguridad-en-Espana.pdf)

[tual-de-la-ciberseguridad-en-Espana.pdf](https://www.ospi.es/export/sites/ospi/documents/documentos/Seguridad-y-privacidad/Google_Panorama-ac-tual-de-la-ciberseguridad-en-Espana.pdf)

- [9] Internet de las Cosas para una agricultura sostenible. Ministerio de Industria, comercio y turismo de España.

<https://www.industriaconectada40.gob.es/difusion/noticias/Paginas/Internet-agricultura-sostenible.aspx>

- [10] Alianza entre Telefónica y la FAO para colaborar en el desarrollo y la puesta en marcha de iniciativas de innovación, digitalización y análisis de datos en el sector agrícola <https://www.telefonica.com/es/web/sala-de-prensa/-/telefonica-y-la-fao-impulsaran-iniciativas-de-digitalizacion-para-mejorar-el-sector-agricola-y-el-acceso-a-la-informacion-de-comunidades-rurales>

- [11] Internet de las cosas. Comparativa Internacional, España y Comunidades Autónomas. EAE Business School (2020) <https://www.eae.es/actualidad/notas-de-prensa/espana-es-el-quinto-pais-de-europa-en-inversion-en-iot>

- [12] O. Noguera-Salas, R. Alfonso Pinto, J. E. Villarreal-Padilla, La eficiencia de los nuevos materiales fotosensibles usados en la fabricación de paneles solares. ITECKNE Innovación e Investigación en Ingeniería 15(1), 7-16, (2018)

- [13] C. Espejo-Marín, A. E. V, La Producción de Electricidad con Energía Solar Fotovoltaica en España en el Siglo XXI. Revista de Estudios Andaluces (REA), 39, febrero (2020)

- [14] Real Decreto 244/2019, de 5 de abril de 2019, por el que se regulan las condiciones administrativas, técnicas y económicas del autoconsumo de energía eléctrica: <https://www.boe.es/buscar/doc.php?id=BOE-A-2019-5089>

- [15] *Renewables 2019*. Agencia Internacional de la Energía (2019). <https://www.iea.org/reports/renewables-2019>

- [16] Tecnología de globos aerostáticos de gran altura la empresa Zero 2 Infinity. <http://www.zero2infinity.space/bloon>

- [17] Agenda sectorial de la industria espacial. TEDAE, Asociación Española de Empresas Tecnológicas de Defensa, Seguridad y Espacio. (2019)

- [18] El estado del arte de *blockchain* en la empresa española, AMETIC (2020)

- [19] Agenda Digital: España Digital 2025, Ministerio de Asuntos Económicos y Transformación Digital (2020)

- [20] J. Alonso Lecuif, La seguridad y la privacidad del *blockchain*, más allá de la tecnología y las criptomonedas, Real Instituto Elcano (2019)