

Por qué la inteligencia artificial debería ser prioritaria en la agenda climática de España

Un programa de



GOBIERNO
DE ESPAÑA

VICEPRESIDENCIA
SEGUNDA DEL GOBIERNO
MINISTERIO
DE ASUNTOS ECONÓMICOS
Y TRANSFORMACIÓN DIGITAL

SECRETARÍA DE ESTADO
DE DIGITALIZACIÓN
E INTELIGENCIA ARTIFICIAL

red.es



MOBILE
WORLD CAPITAL™
BARCELONA

Sobre Digital Future Society

Digital Future Society es una iniciativa transnacional sin ánimo de lucro que conecta a responsables políticos, organizaciones cívicas, expertos académicos y empresarios para explorar, experimentar y explicar cómo se pueden diseñar, usar y gobernar las tecnologías a fin de crear las condiciones adecuadas para una sociedad más inclusiva y equitativa.

Nuestro objetivo es ayudar a los responsables políticos a identificar, comprender y priorizar los desafíos y las oportunidades fundamentales, ahora y en los próximos diez años, en relación con temas clave que incluyen la innovación pública, la confianza digital y el crecimiento equitativo.

Para más información, visite digitalfuturesociety.com

Un programa de



VICEPRESIDENCIA
SEGUNDA DEL GOBIERNO
MINISTERIO
DE ASUNTOS ECONÓMICOS
Y TRANSFORMACIÓN DIGITAL

SECRETARÍA DE ESTADO
DE DIGITALIZACIÓN
E INTELIGENCIA ARTIFICIAL

red.es



Permiso para compartir

Esta publicación está protegida por la licencia internacional [Creative Commons Attribution-ShareAlike 4.0](https://creativecommons.org/licenses/by-sa/4.0/) (CC BY-SA 4.0).

Publicado

Junio del 2021

Aviso legal

La información y las opiniones expuestas en este informe no reflejan necesariamente la opinión oficial de Mobile World Capital Foundation. La Fundación no garantiza la exactitud de los datos incluidos en este informe. Ni la Fundación ni ninguna persona que actúe en nombre de la Fundación será considerada responsable del uso que pueda darse a la información que contiene.

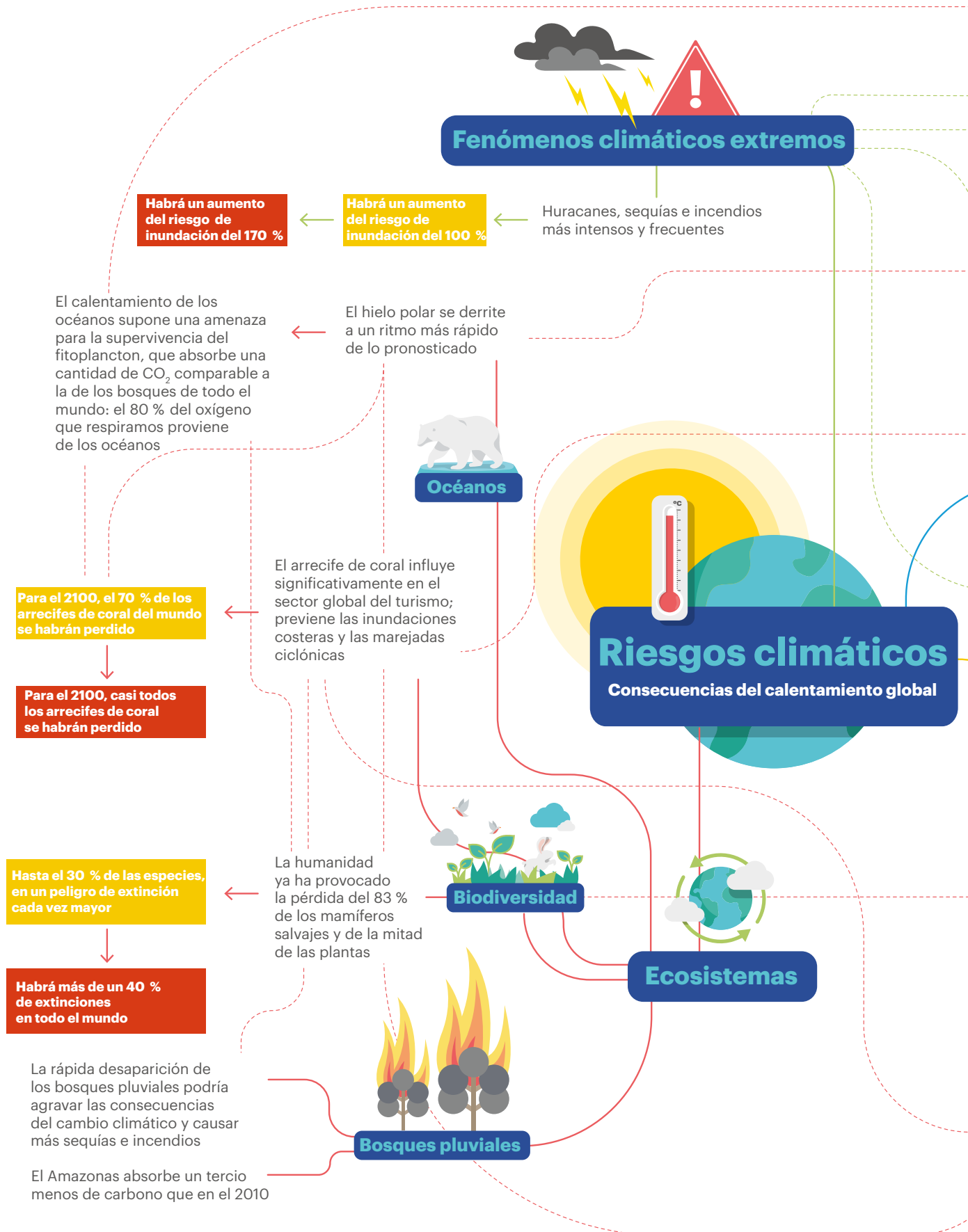
Nota a la versión en español

Este informe ha sido escrito en inglés y traducido al español. Digital Future Society apoya el uso de conceptos técnicos en español y se esfuerza por encontrar una traducción precisa, siempre que sea posible, sin comprometer por ello el significado original del contenido.

Contenidos

1. ¿Por qué ahora?	5
2. La urgencia y la oportunidad	9
3. La unión de los planes de digitalización y acción contra el cambio climático	12
4. El papel global de la IA en la lucha contra el cambio climático	14
5. Problemas y consideraciones al trabajar con la IA	18
6. El sector público español, a favor de la IA	22
7. El buen acceso de España al talento especializado en IA	26
8. Las múltiples fuentes de financiación para los proyectos españoles	28
9. Cómo puede ayudar la IA al sector privado a ser más eficiente e inocuo para el clima	32
10. Ya está pasando: cinco proyectos españoles que tienes que conocer	35
Referencias	48
Agradecimientos	54

1. ¿Por qué ahora?



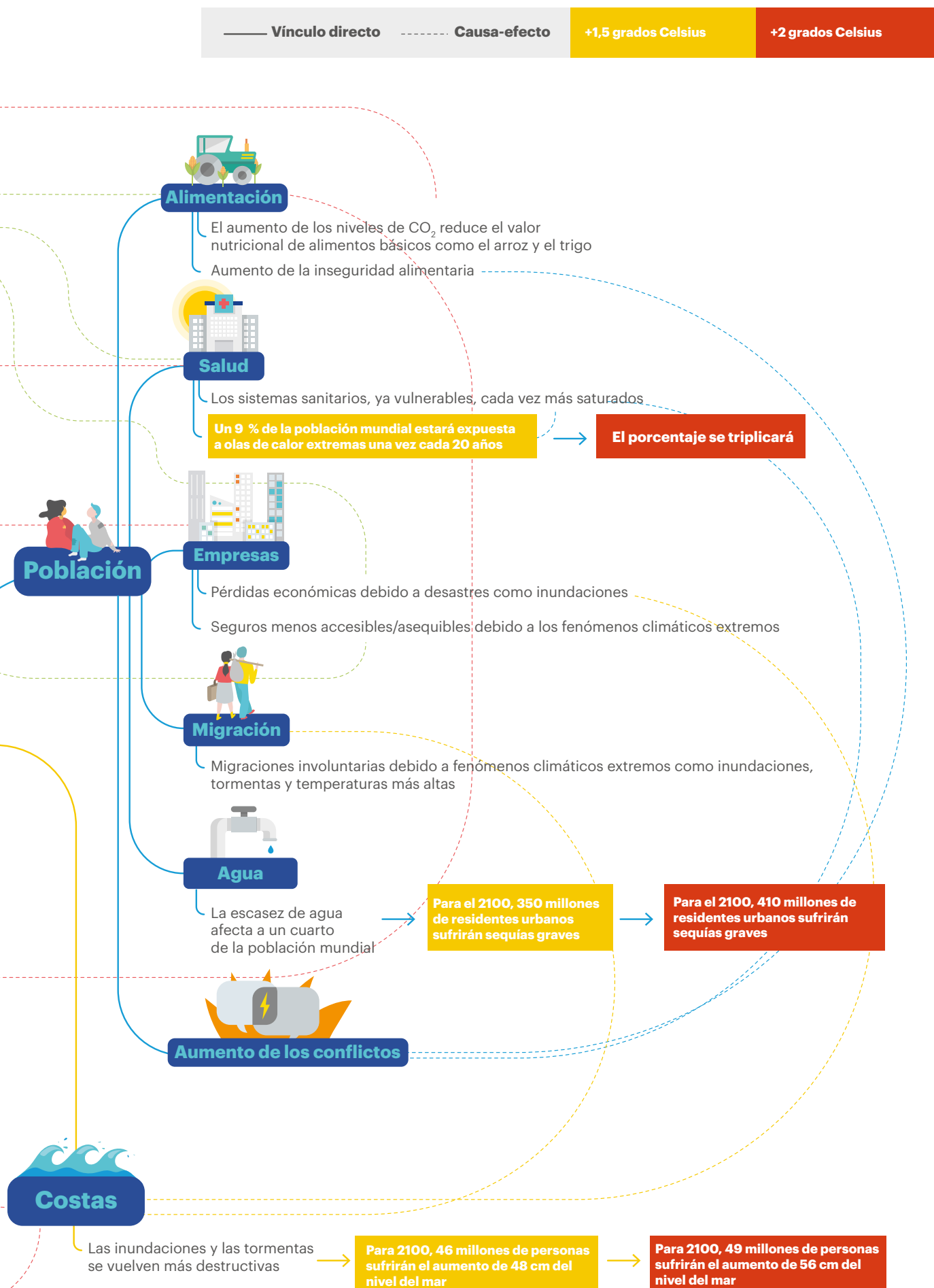


Figura 1. La complejidad de la crisis climática radica en la interrelación entre los efectos del calentamiento global.
Fuente de la imagen: Digital Future Society. Fuente de los datos: Grupo Intergubernamental de Expertos sobre el Cambio Climático (IPCC) 2007.

El cambio climático es uno de los mayores desafíos de los últimos tiempos: supone una amenaza para la preservación de los hábitats naturales y las sociedades de todo el planeta. Si no prestamos la debida atención a sus repercusiones, las medidas que adoptemos en el futuro serán poco eficaces; ya no tendremos la capacidad de cambiar y prosperar. El Informe de *The Global Risks Report* ('Informe de riesgos globales') que publica cada año el Foro Económico Mundial ha situado el fracaso de la acción climática en el epicentro de los principales riesgos globales a largo plazo.¹

Numerosos investigadores y expertos en inteligencia artificial (IA) de todo el mundo están aunando fuerzas para resolver los problemas que causan la emergencia climática. En este sentido, los principales temas que están surgiendo en relación con los fenómenos climáticos extremos son el posprocesamiento de conjuntos de datos sobre el clima, el modelado del sistema terrestre, las predicciones y las consecuencias del clima. En la actualidad, el cambio climático está impulsando el desarrollo y la evolución —en términos de complejidad y de madurez— de las herramientas informáticas existentes y la capacidad de analizar grandes volúmenes de datos. Esto, unido al deseo de aplicar la IA a los problemas más importantes de la sociedad, ofrece una oportunidad única para aprovechar el potencial de la tecnología digital en la lucha contra el cambio climático.

Hoy en día se observa cómo la voluntad y las aspiraciones políticas se están poniendo en consonancia con la necesidad imperiosa, tanto social como ecológica, de actuar frente a una emergencia climática cada vez mayor. Para cumplir con el Acuerdo de París y alcanzar los objetivos que establece de cara al 2030, la humanidad debe reducir las emisiones de gases de efecto invernadero (GEI) entre un 25 % y un 55 % en comparación con los niveles del 2018, lo que limitaría el calentamiento global a entre 1,5 y 2 °C.² Estamos en la década de la acción climática, por lo que debemos tomar medidas globales respaldadas por iniciativas nacionales, regionales y locales.

España, al igual que muchos de sus socios europeos, tiene el compromiso y el liderazgo político necesarios para desarrollar e implementar las políticas adecuadas, que impulsen y consigan un cambio eficaz en relación con la crisis climática. Desde la ONU hasta la Unión Europea, España y sus regiones, ciudades y pueblos, ya se han aplicado políticas y planes ambiciosos diseñados para mitigar los crecientes efectos del cambio climático. Además, la investigación española sobre el cambio climático goza de una reputación muy consolidada y ha obtenido numerosos logros, así como acceso a los fondos europeos y una fuerte presencia internacional. El Centro Nacional de Supercomputación de Barcelona es un claro ejemplo de ello.

Por todo esto, el momento actual es una oportunidad única para que España actúe, tal y como explicaremos en el presente informe.

¹ Foro Económico Mundial 2020

² Programa de las Naciones Unidas para el Medio Ambiente 2019

Pero ¿qué significa exactamente priorizar la inteligencia artificial dentro de la agenda climática? Hay que comprender el ámbito de la IA, crear las condiciones adecuadas para que se desarrolle y tener la voluntad política de facilitar el cambio a través de la legislación, una estrategia coordinada y presupuestos específicos. También es necesario aprovechar las redes internacionales y los esfuerzos e iniciativas ya existentes, apoyar el desarrollo de conocimientos técnicos y fomentar el talento nacional a diversos niveles y con equilibrio de género. Además, hay que asegurarse de que todas las áreas del Gobierno involucradas estén en concordancia en cuanto a estrategia, financiación y presupuestos específicos. Asimismo, hay que trabajar para fortalecer la participación y el compromiso del sector privado. Por último, para priorizar la IA en la agenda del cambio climático, se deben generar debates y reflexiones útiles sobre sus consecuencias éticas y sociales y, por encima de todo, ayudar a que los ciudadanos comprendan las iniciativas que se pongan en marcha, participen en ellas y las apoyen.

2. La urgencia y la oportunidad

Los Objetivos de Desarrollo Sostenible de las Naciones Unidas, el Pacto Verde Europeo y el plan de recuperación de la COVID-19, junto con las estrategias para abordar el cambio climático que ha anunciado España recientemente, ponen de manifiesto que la urgencia y la oportunidad se complementan de una manera única al combinar las agendas de digitalización, descarbonización y resiliencia frente al cambio climático.

Objetivos de Desarrollo Sostenible de las Naciones Unidas

La Agenda 2030 para el Desarrollo Sostenible de la ONU, que han adoptado todos sus Estados miembros, propone un marco para la paz y la prosperidad del planeta y sus ciudadanos. En particular, los 17 Objetivos de Desarrollo Sostenible (ODS) de la Agenda suponen hacen un llamamiento urgente a la acción global para abordar los retos que afronta la sociedad actualmente.



Figura 2. Los ODS relacionados con la crisis climática. Fuente de la imagen: Digital Future Society.

Son especialmente relevantes los ODS 7 (Energía asequible y no contaminante), 11 (Ciudades y comunidades sostenibles), 13 (Acción por el clima), 14 (Vida submarina) y 15 (Vida de ecosistemas terrestres), pues están relacionados con la emergencia climática y sus consecuencias para el planeta. Estos objetivos contribuyen al marco de acción global por la mitigación del cambio climático, pero se necesita un esfuerzo conjunto, innovación y la implementación de soluciones para que los ODS lleguen a ser algo más que meros deseos.

El Pacto Verde Europeo y el plan de recuperación

El Pacto Verde Europeo es la hoja de ruta de la UE hacia una economía próspera y sostenible. Es una estrategia de crecimiento que aspira a transformar la UE en una economía moderna y competitiva que use sus recursos con eficiencia y cuyo crecimiento económico no esté vinculado al consumo de recursos. La estrategia también incluye la meta de reducir las emisiones netas de gases de efecto invernadero en Europa al menos un 55 %, en comparación con los niveles de 1990, de aquí al 2030. Esta meta se ha ajustado a los objetivos del Acuerdo de París de la Convención Marco de las Naciones Unidas sobre el Cambio Climático y señala la neutralidad climática como un componente esencial del Pacto Verde Europeo.³ Ahora, la UE dispone de un marco legislativo integral que defiende este compromiso, así como una serie de medidas e iniciativas diseñadas para mitigar la emergencia climática mediante la reducción de las emisiones de gases de efecto invernadero, la adaptación a las consecuencias del cambio climático y la gran transición económica y social que se necesita.⁴

Un ejemplo claro del compromiso europeo son las primeras iniciativas estratégicas y regulatorias de acción por el clima que recoge el Pacto Verde:

- La Ley Europea del Clima, que aspira a incluir el compromiso de neutralidad climática para el 2050 en la legislación de la UE.⁵
- El Pacto Europeo por el Clima, que aspira a aumentar la concienciación social y a fomentar la participación de los ciudadanos llevando a la práctica la acción climática.⁶
- El Plan del Objetivo Climático europeo, que propone ir más allá en la reducción de las emisiones netas de gases de efecto invernadero en Europa, al menos un 55 % en comparación con los niveles de 1990, para el 2030, mediante una hoja de ruta definida y políticas concretas.⁷

En paralelo, como respuesta urgente ante los retos y perjuicios económicos y sociales derivados de la pandemia de la COVID-19, la Comisión Europea, el Parlamento Europeo y los dirigentes de la UE anunciaron un plan de recuperación que supone el mayor paquete de estímulos hasta la fecha, respaldado por el presupuesto a largo plazo de la UE y por Next Generation EU (un instrumento temporal creado específicamente para esta causa). El objetivo de los 1,8 billones de euros asignados es apoyar la reconstrucción de una UE que sea “más verde, más digital y más resiliente”. Las cuestiones asociadas al cambio climático son un componente clave de este paquete y de las actividades de reconstrucción relacionadas.⁸

³ Convención Marco de las Naciones Unidas sobre el Cambio Climático 2020

⁴ Comisión Europea 2020a

⁵ Comisión Europea, s.f., c

⁶ Comisión Europea, s.f., c

⁷ Comisión Europea, s.f., c

⁸ Comisión Europea, s.f., c

La posición de España

En el 2019, durante la Conferencia de las Naciones Unidas sobre el Cambio Climático (COP25) celebrada en Madrid, el presidente del Gobierno de España, Pedro Sánchez, prometió que Madrid sería la capital del compromiso y la lucha contra la crisis climática y que abogaría por la ciencia y la urgencia a la hora de abordar estos problemas.⁹

El ministerio español encargado de los asuntos relacionados con el cambio climático es el Ministerio para la Transición Ecológica y el Reto Demográfico. Este organismo (fundado en el año 2018 con el nombre de Ministerio para la Transición Ecológica) desarrolla las políticas de mitigación del cambio climático, prevención de la contaminación, evaluación del impacto medioambiental y apoyo al uso de tecnologías limpias. También fomenta la adopción de unos hábitos de consumo más sostenibles y busca proteger el patrimonio natural y la biodiversidad, entre otros aspectos de la ecología.¹⁰

En el 2020, el ministerio trabajó en un proyecto de ley para respaldar el compromiso de neutralidad climática del 2050, con lo que España se sumó a la pequeña lista de países que desean plasmar este objetivo en la legislación.¹¹ Para avanzar hacia la neutralidad climática, el Gobierno propuso unos objetivos provisionales, como una reducción de las emisiones del 23 % respecto del año 1990 de aquí al 2030. Otras propuestas son duplicar el porcentaje de electricidad que proviene de fuentes de energía renovables hasta el 70 % y aplicar medidas de eficiencia energética para reducir el consumo en un 35 % como mínimo, con especial atención a la modernización de los edificios y las viviendas existentes.¹²

Estos objetivos también se han diseñado para tener un impacto positivo en la economía y crear empleo y oportunidades dentro de España. El Gobierno estima que el plan generará una inversión de más de 200.000 millones de euros y hasta 350.000 nuevos puestos de trabajo cada año, lo que incrementaría el crecimiento económico un 1,8 % en las condiciones habituales.^{13, 14}

⁹ Mahtani y Medina 2019

¹⁰ Gobierno de España 2018

¹¹ Climate Home News 2019

¹² Ministerio para la Transición Ecológica y el Reto Demográfico 2020a

¹³ *Ibid.*

¹⁴ *Ibid.*

3. La unión de los planes de digitalización y acción contra el cambio climático

En los contextos descritos —global, europeo y español— se observa cómo las agendas de digitalización y cambio climático se están uniendo para conformar un mismo plan. Esta fusión debería servir de base para las previsiones de cara al futuro. El mejor ejemplo de esta doble transición, ecológica y digital, es “Configurar el futuro digital de Europa”, el plan actual de la UE para la transformación digital. Dicho plan se basa en tres pilares: la tecnología al servicio de las personas, una economía justa y competitiva, y una sociedad abierta, democrática y sostenible.¹⁵ Esta estrategia pretende mejorar la vida cotidiana de todos los ciudadanos mediante la tecnología y ayudar a las empresas a dar sus primeros pasos, crecer e innovar, además de contribuir al objetivo de neutralidad climática de la UE. Reconoce la necesidad de una transformación digital europea que redunde en beneficio de todos y que, a través de las tecnologías digitales, haga frente al cambio climático y garantice una transición verde.¹⁶

“Configurar el futuro digital de Europa” recalca el papel que desempeñará la tecnología dentro de esa transición verde y digital. Menciona las redes energéticas, la agricultura de precisión, la movilidad y el transporte, los edificios inteligentes, los espacios de datos ecológicos y el poder de los datos como áreas prioritarias para lograr la transición.¹⁷ Y, en todas esas áreas, la IA está desempeñando un papel transformativo, tal y como demuestran los estudios de casos que presentaremos después.

El papel de la IA en la lucha contra la crisis climática es cada vez más visible. Esto se debe, en parte, al rol que ha desempeñado y seguirá desempeñando la informática a la hora de entender, predecir y mitigar el cambio climático. Iniciativas como Destino Tierra lo ejemplifican de manera clara y transformativa. Es fácil que la existencia de la IA y su funcionamiento, ocultos en las aplicaciones tecnológicas, pasen desapercibidos para los usuarios, incluso en las interacciones más sencillas del día a día. El uso de la IA para mitigar el cambio climático se encuentra todavía en las fases preliminares, a pesar de su potencial. Aún queda mucho por hacer para que se desarrolle su aplicación en este ámbito y para entender todas las oportunidades que presenta, pero también para comprender las consecuencias y cuestiones éticas de la IA.

¹⁵ Comisión Europea 2020d

¹⁶ *Ibid.*

¹⁷ Comisión Europea 2020f

Destino Tierra (DestinE)

Destino Tierra (o DestinE, de Destination Earth) es una nueva iniciativa muy ambiciosa que sirve de apoyo al Pacto Verde Europeo y al plan digital de la UE. El principal objetivo de DestinE es crear “un modelo digital de la Tierra de muy alta precisión para monitorizar y simular la actividad natural y humana, y para desarrollar y probar situaciones que permitirían un desarrollo más sostenible y que respaldarían las políticas medioambientales europeas”¹⁸. La implementación comenzará de forma gradual en el 2021 y se espera que dure entre 7 y 10 años. DestinE monitorizará la salud del planeta con los indicadores establecidos, podrá hacer simulaciones dinámicas de alta precisión de los sistemas naturales de la Tierra, mejorará las capacidades predictivas y de modelado, y apoyará la formulación de políticas de la UE, así como su implementación. Además, reforzará la capacidad europea de simulación, modelado, análisis de datos predictivo, IA e informática de alto rendimiento.¹⁹ En términos generales, DestinE también puede respaldar los esfuerzos por acelerar la transición ecológica y ayudar a definir los planes para hacer frente a la degradación del entorno y los grandes desastres medioambientales en todo el mundo.

¹⁸ Comisión Europea 2021b

¹⁹ *Ibid.*

4. El papel global de la IA en la lucha contra el cambio climático

En las últimas décadas, hemos visto proliferar la investigación y la aplicación de soluciones algorítmicas para automatizar tareas y resolver problemas que suelen estar relacionados con la conducta inteligente del ser humano. En conjunto, este campo se enmarca dentro de la inteligencia artificial, un término muy amplio. En particular, hemos observado el auge del aprendizaje automático y, más concretamente, del aprendizaje profundo, que es una evolución y un subconjunto del aprendizaje automático.

Los programas de **aprendizaje automático** emplean algoritmos para aprender y mejorar con la experiencia, aplicando lo aprendido a la hora de tomar decisiones y mejorar los resultados. Utilizan datos accesibles para tomar decisiones informadas y procesar los datos de una manera que, si tuviera que programarse manualmente, requeriría demasiado esfuerzo. El aprendizaje automático ha mejorado las tareas tradicionales de análisis de datos, predicción y optimización. También ha sentado las bases para encontrar soluciones a algunas de las cuestiones más complejas del ámbito de la IA, como la visión artificial, el procesamiento del lenguaje natural y la planificación y actuación autónomas.

La visión artificial, por ejemplo, se basa en el aprendizaje automático para analizar imágenes o vídeos digitales. Esta técnica ya es capaz de automatizar tareas que requieren un nivel alto de comprensión visual, similar al de las personas, y los vehículos autónomos son un ejemplo muy representativo de su uso.

Estos revolucionarios avances provienen de un determinado paradigma de aprendizaje automático, denominado *aprendizaje profundo*.

Los inicios del **aprendizaje profundo** se remontan a los años cincuenta: en 1958 se concibieron los perceptrones, los cimientos del aprendizaje profundo. Pero no fue hasta el 2012, aproximadamente, cuando se crearon las primeras aplicaciones de aprendizaje profundo, a raíz de las siguientes mejoras en la infraestructura:

1. Una computación mejorada gracias a las unidades de procesamiento especializadas, como las unidades de procesamiento gráfico (GPU, por sus siglas en inglés) y, más recientemente, las unidades de procesamiento de tensor (TPU, ídem); la tecnología de varios núcleos y, en menor grado, la llegada de la informática en la nube.
2. La creación de conjuntos de datos seleccionados con miles de ejemplos etiquetados, como ImageNet, y el desarrollo de la infraestructura de etiquetado de datos, como la de Amazon Mechanical Turk. Este tipo de infraestructura permite la readaptación *human-in-the-loop* (HITL), es decir, la interacción de personas para validar, perfeccionar y entrenar un modelo de aprendizaje automático.



Figura 3. CAPTCHA es un ejemplo muy conocido de infraestructura de etiquetado de conjuntos de datos. Fuente de la imagen: Digital Future Society. Fuente de los datos: Strickland, sin fecha.

Así, aunque la IA existe desde hace varias décadas, los últimos avances de la digitalización, los conjuntos de datos y las velocidades de procesamiento y el progreso de las tecnologías en las que se basa la IA han hecho que esta tecnología sea mucho más accesible. Ya no se limita al ámbito académico: todas las grandes empresas tecnológicas están incorporándola a sus productos y alimentándola de inmensos conjuntos de datos procedentes de dispositivos, sensores y satélites, datos que incluyen todo tipo de detalles. Hasta ahora, el uso de los datos estaba limitado por la capacidad de analizarlos, pero los sistemas actuales de IA pueden procesar con facilidad grandes cantidades de datos. De hecho, cuantos más datos estén disponibles para procesar, más precisos serán los análisis. Los sistemas de IA pueden incluso agregar e incorporar diferentes tipos y conjuntos de datos para ajustar aún más los modelos y mejorar su precisión al hacer predicciones o tomar decisiones, según la finalidad de cada sistema. La crisis climática es extremadamente compleja, dado el gran número de variables que intervienen. Esto hace de la IA una herramienta muy valiosa para afrontar dicha crisis de manera eficaz.

El célebre artículo *Tackling Climate Change with Machine Learning* ('Cómo abordar el cambio climático con aprendizaje automático'), una llamada a la acción para la comunidad internacional del aprendizaje automático, expone las principales contribuciones potenciales de esta disciplina, como "parte de la solución" y también como "herramienta que habilite otras herramientas en diversos ámbitos". Dicha publicación presenta algunos ejemplos de cómo puede contribuir a este fin el aprendizaje automático:¹⁹

El aprendizaje automático permite la monitorización automática a través de sensores remotos (p. ej., localizando la deforestación, recopilando datos sobre los edificios y evaluando los daños provocados por desastres). Puede acelerar el proceso de descubrimiento científico (p. ej., sugiriendo nuevos materiales para las baterías, la construcción y la captura de carbono). El aprendizaje automático puede optimizar los sistemas para mejorar la eficiencia (p. ej., agrupando la carga que se debe transportar, diseñando mercados de carbono y reduciendo el desperdicio de alimentos). También puede acelerar las simulaciones físicas, que suponen un consumo muy alto de recursos informáticos, mediante el modelado híbrido (p. ej., con modelos climáticos y de programación de la energía)²⁰.

El artículo sitúa a la IA como una herramienta que complementa las medidas existentes contra el cambio climático, más que como una solución independiente. Por ejemplo, si se crean mercados donde las diferentes partes se responsabilicen de sus emisiones de carbono, se puede emplear la capacidad de la IA para localizar esos mercados y realizar predicciones, algo clave para aumentar la eficiencia. Para alcanzar el objetivo de limitar el calentamiento global a 1,5 °C, o incluso a 2 °C, no bastan las medidas graduales. Hay que emprender iniciativas exponenciales. Por eso, incorporar la IA a las estrategias existentes supone un paso muy necesario en la dirección correcta.²¹

¹⁹ Rolnick et al. 2019

²⁰ Ibid.

²¹ Falk et al. 2019

Otro ámbito donde la IA puede tener un gran impacto es la modernización de edificios. Es un ejemplo muy claro del valor añadido que puede aportar la IA a las estrategias de mitigación convencionales. La modernización ya es, de por sí, una solución muy útil; los reglamentos exigen que los edificios de nueva construcción estén bien aislados, lo que puede suponer un ahorro del 40 % del consumo energético dedicado a la calefacción.²² Utilizar la IA en el proceso de modernización y el aprendizaje automático para automatizar la calefacción de los edificios podría mejorar la eficiencia entre un 10 % y un 15 % adicional. Los casos de DEXMA y Orpheus, que presentaremos más adelante, demuestran que la tecnología y la innovación españolas ya están mejorando la eficiencia con este tipo de estrategias.

²² Mackay 2008

5. Problemas y consideraciones al trabajar con la IA

Es necesario señalar que, aunque la IA puede ayudar a tomar medidas para paliar el cambio climático, también puede dar apoyo a la infraestructura contaminante del carbón, de modo que puede contribuir a que se sigan empleando combustibles fósiles y otras infraestructuras contaminantes. El problema más evidente es, tal vez, el hecho de que **la potencia informática necesaria para usar la IA es, en sí misma, un problema que acrecienta el cambio climático**. Hoy en día, el entrenamiento de los modelos de aprendizaje automático suele realizarse mediante informática en la nube. Se utilizan servicios y centros de procesamiento de datos como Amazon Web Services, Microsoft Azure o Google Cloud, entre otros. Estos servicios ofrecen sistemas de aprendizaje automático gracias a la inmensa capacidad de sus recursos informáticos, pero al mismo tiempo consumen enormes cantidades de energía.

Según un estudio reciente, para entrenar uno de los modelos de aprendizaje profundo más modernos, se necesitan unos recursos informáticos equivalentes a cinco veces la cantidad de CO₂ que consumirá un coche durante toda su vida útil.²³ En el 2016, los centros de datos de todo el planeta representaron aproximadamente el 3 % del consumo mundial de electricidad, un 40 % más que el consumo de todo el Reino Unido en el mismo año. Según las previsiones, esta cifra se duplicará cada cuatro años, aunque no toda esta demanda se puede atribuir a las aplicaciones de IA.^{24, 25}

En España, el clúster Power9 de MareNostrum 4 del Centro Nacional de Supercomputación (también llamado BSC o Barcelona Supercomputing Center) ocupa el sexto puesto en la lista de superordenadores Green 500 del mundo, clasificados según su eficiencia energética.^{26, 27} Dicho clúster se dedica, principalmente, a ejecutar modelos de IA de forma ininterrumpida, y consume enormes cantidades de electricidad y potencia informática. Por estos motivos, están surgiendo diversas líneas de trabajo que pretenden, en la medida de lo posible, evitar o mitigar dichos inmensos sistemas centralizados mediante el uso del aprendizaje distribuido y la informática perimetral. Esto ha dado pie a una nueva disciplina, la del aprendizaje automático perimetral, y en España ya hay varios proyectos que tratan de diseñar sistemas más sostenibles, como MLoE.²⁸

Con la informática perimetral, los datos se pueden someter a un procesamiento preliminar dentro de la red de sensores. Este método permite reducir el consumo de energía dedicado al almacenamiento de datos y las comunicaciones, ya que solo es necesario transmitir los datos que son relevantes para el sistema centralizado. El reto de disminuir la demanda energética

²³ Strubell et al. 2019

²⁴ Danilak 2017

²⁵ Gartner Inc. 2017

²⁶ BSC-CNS 2020

²⁷ Top500.org 2019

²⁸ Fontenla Romero 2020

está impulsando una revolución por una inteligencia artificial más ecológica, en la que muchos algoritmos se están rediseñando y, cuando se crean nuevos algoritmos, se prioriza el ahorro energético para cumplir con las nuevas restricciones.²⁹

Además, hay que tener en cuenta otros problemas y riesgos de utilizar la IA, aparte de las dificultades relacionadas con el diseño y el desarrollo de los sistemas.

Para aprobar políticas climáticas basadas en la evidencia, el principal reto es la necesidad de **entender la inferencia causal** (extraer conclusiones sobre una relación causal a partir de las condiciones en las que se produce un efecto) para estimar las teorías alternativas y contrafactuales que podrían surgir al aprobar diferentes políticas.

Otro problema es el **“reward hacking (hacking por recompensas)”**: a veces, un sistema de IA encuentra una solución a un problema siguiendo un razonamiento que puede parecerle correcto a dicho sistema, pero que emplea atajos indeseados o soluciones imprevistas que van en contra de la intención original de quien lo diseñó. Por ejemplo, si un sistema diseñado para apagar incendios recibe una recompensa cada vez que su mecanismo de inspección no detecta ningún incendio, puede optar por evitar el fuego en lugar de extinguirlo. Los sistemas deben comportarse tal y como se espera, por lo que deben estar diseñados para no emplear soluciones poco acordes con el propósito de su tarea.³⁰

Los sistemas de IA también deben mejorar su **capacidad para abordar la incertidumbre** inherente en problemas como el cambio climático, por ejemplo, favorecer la flexibilidad al realizar previsiones relacionadas con la energía. Asimismo, deben mejorar su capacidad de **cuantificar la incertidumbre** de las predicciones que realizan.³¹

Otro problema tiene que ver con la integración de los modelos climáticos a diferentes escalas. Para ello, habrá que entender mejor cómo integrar los modelos de aprendizaje automático definidos en diferentes resoluciones y ontologías informáticas. Un ejemplo de esto es la integración del modelado climático con los modelos de producción agrícola, lo que se conoce como un **modelo jerárquico del mundo**.

Los sistemas de IA también deben mejorar el aprendizaje por transferencia, es decir, usar un modelo diseñado para una tarea específica como punto de partida y, con esa información, elaborar un modelo para otra tarea relacionada. Por ejemplo, un modelo desarrollado para predecir la demanda energética de un edificio determinado se podría transferir y utilizar como punto de partida para crear modelos predictivos de otros edificios. Por lo tanto, los sistemas de IA se deben diseñar de forma que puedan adaptarse a diferentes campos y abordar correctamente distintas condiciones, como los cambios en la distribución de las variables introducidas. Es lo que se denomina **cambio de covariables**.³² Si queremos adaptar los sistemas a las diferentes regiones, tendremos que transferir mejor el aprendizaje.

²⁹ Pruhs 2019

³¹ Davey 2018

³⁰ Amodèi et al. 2016

³² Stewart 2019

Otro aspecto que debemos tener en cuenta es que, para evitar errores inaceptables durante el período de aprendizaje, los sistemas que están aprendiendo constantemente (especialmente, los de aprendizaje por refuerzo en línea) necesitan entender mejor la **exploración segura**. Por ejemplo, si un enjambre de drones está aprendiendo a monitorizar y gestionar los cultivos en un sistema de agricultura de precisión, es posible que los drones no se esquiven unos a otros correctamente o, incluso, que dañen los cultivos, dependiendo de las medidas que tomen en ciertas situaciones, por ejemplo, al decidir cómo combatir una plaga.

Para **evitar que los sistemas perpetúen las desigualdades sociales** o que solo permitan ciertos tipos de lógica, la IA requiere una conversación interdisciplinar que incluya perspectivas diversas. La desigualdad de género y el hecho de que quienes trabajan en IA provienen de campos como la informática, las matemáticas y la física pueden amplificar este tipo de sesgos. La IA se podría desarrollar mejor si hubiera más diversidad entre los trabajadores de este ámbito. Lo mismo puede decirse de la necesidad de entender y analizar las repercusiones de la IA a corto y a largo plazo en el contexto donde se usa, especialmente fuera de entornos controlados y en lo relacionado con situaciones sociales y domésticas.

De un modo u otro, los temas que se mencionan en esta sección tienen que ver con un campo relativamente nuevo, el de la inteligencia artificial fiable, que se enfrenta a obstáculos relacionados con la privacidad, la robustez, la transparencia o la ética.³³ En cuanto a la **privacidad**, los sistemas de IA deben proteger los datos en bruto, así como la información que se genera al interactuar con dichos datos. También deben respetar los acuerdos con los propietarios de los datos y la legislación, como el Reglamento General de Protección de Datos de la UE, que establece los principios para que la IA sea transparente, precisa y justa, y no discrimine por motivos de raza, salud o género.³⁴ La **robustez** hará que los sistemas de IA puedan afrontar los errores y gestionar nuevos ataques o situaciones. Por último, la **transparencia** está íntimamente relacionada con el concepto de la **IA explicable**, un campo emergente que trata de mejorar los sistemas que toman las decisiones en la práctica; para ello, se incorpora información sobre los datos, las variables y los puntos de decisión que emplea un sistema a la hora de tomar una decisión u ofrecer una recomendación.^{35, 36} Esta es una de las preocupaciones de la Comisión Europea y de su grupo de expertos de alto nivel sobre la IA, encargado de emitir las directrices para el plan estratégico sobre IA de la UE.³⁷ Dicho plan incluye recomendaciones sobre el desarrollo de futuras políticas relacionadas con la IA y con los retos éticos, jurídicos, sociales y socioeconómicos que tendrán que afrontar tanto Europa como el resto del mundo.³⁸

Los avances en inteligencia artificial que se logren al crear nuevos métodos fiables permitirán que Europa se sitúe a la vanguardia de la innovación mundial con una IA ética, segura, avanzada y respetuosa con los derechos. Un ejemplo de la importancia de estos factores es el proyecto TAILOR, una red de centros de investigación creada para establecer los cimientos de una IA fiable. Se fundó a finales del 2020 con financiación del programa H2020 y un presupuesto total de 12 millones de euros.³⁹ Esta red, en la que participan varios centros y

³³ Comisión Europea 2019a

³⁶ Guidotti et al. 2019

³⁹ TAILOR 2021

³⁴ Unión Europea 2016

³⁷ Comisión Europea 2021a

³⁵ Gilpin et al. 2018

³⁸ Comisión Europea 2018

universidades de España, aumentará la capacidad de Europa para investigar en IA de forma conjunta y la ayudará a posicionarse como referente en el campo de la IA fiable. Por otra parte, las propuestas de la Comisión para el próximo marco financiero plurianual de la UE Horizonte Europa (2021-2027) abrirán la puerta a la inversión en investigación e innovación dentro de este ámbito.

Lo que señalan claramente estas cuestiones es que se necesita un liderazgo a escala global en la intersección entre la emergencia climática y la IA. Para aprovechar las oportunidades que ofrece la IA y abordar correctamente los problemas y retos que presenta, habrá que dirigir estas acciones con pericia.

6. El sector público español, a favor de la IA

España, al igual que otros países del Mediterráneo, se encuentra en una zona geográfica muy vulnerable a los retos climáticos que están por venir.

Consecuencias del cambio climático en España

Según el informe publicado en el 2015 por PricewaterhouseCoopers (PWC) *El cambio climático en España, 2033*, estas serán algunas de las consecuencias del cambio climático en nuestro país a medio plazo:

- Incremento de las olas de calor, las inundaciones y las sequías.
- Alteraciones en los sectores de la agricultura, la ganadería y la silvicultura, debido al aumento de las enfermedades y los incendios, además de cambios en la estacionalidad de los cultivos.
- Alteraciones del sector turístico.
- Daños en las zonas costeras por el aumento de las tormentas y la salinización de las áreas contiguas, a causa de la subida del nivel del mar.

Dicho informe calcula que, entre los años 1990 y 2033, las emisiones de GEI en España:

- Si no se toman más medidas que las implementadas en el momento de publicar el informe, crecerán entre un 72 % y un 83 %.
- Si se implementan por completo todas las medidas planeadas, crecerán a un ritmo más lento, de entre un 4 % y un 16 %.
- Si el desarrollo tecnológico y la innovación permiten a España comprometerse firmemente a reducir las emisiones, disminuirán entre un 7 % y un 17 %.⁴⁰

No obstante, España está en una posición relativamente buena en cuanto a su capacidad para aplicar la IA a la mitigación del cambio climático y la adaptación a sus consecuencias. Actualmente, las empresas y los investigadores españoles tienen acceso —aunque con limitaciones— a financiación, especialistas en IA y apoyo mediante programas y políticas gubernamentales, elementos que se suman al compromiso del Gobierno por la neutralidad climática y la transformación digital. El Gobierno español está demostrando su liderazgo a través de diversas políticas y estrategias centradas en las tecnologías de IA y las agendas del cambio climático.

⁴⁰ PwC España 2015

Estos son los dos ministerios encargados de supervisar la gobernanza de la IA en España:

- Ministerio de Asuntos Económicos y Transformación Digital. En concreto, la Secretaría de Estado de Digitalización e Inteligencia Artificial, constituida en enero del 2020, gestiona los asuntos del ministerio relacionados con la IA y es la encargada de formular políticas e iniciativas que conduzcan a la digitalización de la sociedad y la economía, a la vez que promueve y regula los servicios digitales y la economía digital.⁴¹
- Ministerio de Ciencia, Innovación y Universidades. En el 2019, este ministerio publicó la Estrategia Española de I+D+I en Inteligencia Artificial, al igual que han hecho otros países en los últimos años. En dicha estrategia, se afirma que la IA será probablemente la responsable de “la rápida transición hacia una nueva sociedad y economía”⁴².

Por otra parte, está el ministerio responsable de la adaptación al cambio climático y su mitigación:

- Ministerio para la Transición Ecológica y el Reto Demográfico. Fundado en el 2018, representa la transición hacia un nuevo modelo industrial, económico y social que sea más sostenible y alcance la neutralidad climática.^{43, 44}

La estrategia España Digital 2025, que puso en marcha el Ministerio de Asuntos Económicos y Transformación Digital a finales de julio del 2020, apoya los objetivos de estos tres ministerios. Se trata de un ambicioso plan para invertir en la actual transformación digital del país, alineado con las políticas digitales definidas en el plan de la UE “Configurar el futuro digital de Europa”. La estrategia se implementará a lo largo de cinco años, con un presupuesto de 140.000 millones de euros.

España Digital 2025 aspira a liderar y apoyar una transformación estructural y productiva del Estado, su economía y su sociedad. La IA es un elemento común en la mayor parte de sus diez ejes estratégicos, en línea con las prioridades de los ministerios mencionados. En términos generales, esta estrategia pretende transformar a España en un referente mundial en el campo de la economía de los datos, y desarrollar y promover la IA como un acelerador de innovación y crecimiento económico, sin dejar de lado la inclusión y la sostenibilidad.⁴⁵

Cinco de los diez ejes estratégicos de España Digital 2025 están estrechamente relacionados con la IA y la emergencia climática:⁴⁶



Conectividad digital: se menciona la importancia de la supercomputación para el modelado del cambio climático, con España como pilar de la supercomputación en Europa.

⁴¹ Ministerio de Política Territorial y Función Pública 2020

⁴² Ministerio de Ciencia, Innovación y Universidades 2019

⁴³ Ministerio para la Transición Ecológica y el Reto Demográfico 2020b

⁴⁴ Ministerio de Política Territorial y Función Pública 2020

⁴⁵ Gobierno de España 2020d

⁴⁶ *Ibid.*

4

Ciberseguridad: durante los próximos cinco años, se pondrá el foco en la formación de 25.000 nuevos especialistas en ciberseguridad, IA y datos, lo que consolidará la posición de España como uno de los polos europeos de capacidad empresarial. La ciberseguridad es esencial para cualquier estrategia o infraestructura de datos o de IA.

5

Transformación digital del sector público: la digitalización de los servicios públicos debería ofrecer servicios más sencillos y sostenibles, y más adaptados a las necesidades de cada ciudadano.

7

Aceleración de la digitalización del modelo productivo en sectores estratégicos: el objetivo de la estrategia es acelerar la digitalización de los sectores económicos estratégicos y reducir la huella de carbono de dichos sectores. Esto facilitará los mecanismos de coordinación, mejorará la eficiencia y creará sinergias.

9

Economía de los datos e IA: el objetivo global es asegurarse de que, para el 2025, al menos un 25 % de las empresas españolas tengan los datos y la IA como componentes clave de sus modelos de negocio. Esto incluye a sectores como el sanitario, el agrícola y el medioambiental.

En julio del 2020, el Ministerio de Asuntos Económicos y Transformación Digital anunció la creación del Consejo Asesor de Inteligencia Artificial. El objetivo de este organismo, formado por expertos españoles, es ofrecer recomendaciones y contribuir a la implementación de la Estrategia Nacional de Inteligencia Artificial, tomando como punto de partida la Estrategia Española de I+D+I en Inteligencia Artificial del 2019.^{47, 48}

Principalmente, la Estrategia Española de I+D+I en Inteligencia Artificial del Ministerio de Ciencia, Innovación y Universidades se centraba en identificar las áreas prioritarias para la innovación y la infraestructura de la IA, además de medir el progreso en dichas áreas. La estrategia recomendaba el uso de la IA para alcanzar los ODS de la ONU. Cinco de ellos son especialmente relevantes: los ODS 7 (Energía asequible y no contaminante), 11 (Ciudades y comunidades sostenibles), 13 (Acción por el clima), 14 (Vida submarina) y 15 (Vida de ecosistemas terrestres).⁴⁹

⁴⁷ Gobierno de España 2020e

⁴⁸ The Spain Journal 2020

⁴⁹ Ministerio de Ciencia, Innovación y Universidades 2019

Aparte de seguir la estrategia nacional, las comunidades autónomas han consultado a expertos y desarrollado sus propias estrategias de IA. Los planes están en distintas fases de desarrollo. Por ejemplo, en diciembre del 2019 se presentó la Estrategia de Inteligencia Artificial de la Comunitat Valenciana, elaborada en torno a tres pilares: diseñar una IA “competitiva”, “centrada en las personas y en la sostenibilidad del planeta” e “inclusiva”^{50, 51}. En el 2020, Cataluña presentó su plan estratégico Catalonia.AI, con una inversión de 10 millones de euros.^{52, 53} Por su parte, el País Vasco está delineando su estrategia, que aún no ha empezado a implementar.⁵⁴

⁵⁰ Generalitat Valenciana 2019a

⁵¹ Generalitat Valenciana 2019b

⁵² Gobierno de Cataluña 2020

⁵³ Pueyo Busquets 2020

⁵⁴ Euskadi.eus 2020

7. El buen acceso de España al talento especializado en IA

España es uno de los 20 países mejor posicionados en cuanto a personal especializado en IA. Los expertos españoles en este campo representan el 2,6 % de los 36.500 perfiles de LinkedIn analizados en un estudio del 2018.⁵⁵ Además, el 8 % de los expertos españoles que participaron en la encuesta Global AI Talent del 2018 habían contribuido significativamente a la IA, lo que sitúa a España entre los 10 primeros países en calidad relativa.⁵⁶

España está logrando estas cifras porque retiene su propio talento, a la vez que atrae a especialistas de otros países. Un estudio realizado entre los asistentes a varios congresos de IA, en el que se analizó dónde habían estudiado y dónde trabajaban los expertos en IA, concluyó que España era un importador neto de talento, dado que atraía a especialistas en IA en un porcentaje mayor que el del personal español que se marchaba.⁵⁷

En cuanto al género, el informe *Global AI Talent 2019* ('Talento global en IA') mostró que las mujeres representaban el 26 % de las ponencias en congresos de España. Aunque esta cifra pueda parecer baja, refleja la mayor igualdad de género de todos los países encuestados, seguida por Taiwán y Singapur (ambos con un 23 %), y es significativamente más alta que la media global, del 18 %.⁵⁸

Por otra parte, España alberga una unidad de la renombrada red ELLIS (siglas en inglés de 'Laboratorio Europeo de Sistemas Inteligentes y de Aprendizaje'), ubicada en Alicante, que incluye a los "mejores científicos europeos" de este ámbito.⁵⁹ Dicha unidad está dirigida por Nuria Oliver y se centra en el talento y el intercambio de investigadores con otras unidades ELLIS.⁶⁰

En cuanto al acceso al talento y al intercambio de investigadores, hay que destacar los centros de innovación digital europeos (DIH, de *digital innovation hub*), diseñados para la transformación digital de las empresas europeas. El objetivo de cada centro es "que las empresas mejoren sus procesos, productos y servicios mediante las tecnologías digitales". Se organizan por áreas temáticas muy especializadas en un ecosistema de centros de investigación y de la industria.⁶¹ Muchos de los DIH que ya están completamente operativos en España se han centrado en la IA y la sostenibilidad.⁶²

⁵⁵ Kisser y Mantha 2019

⁵⁶ *Ibid.*

⁵⁷ *Ibid.*

⁵⁸ *Ibid.*

⁵⁹ ELLIS s.f.

⁶⁰ Torre Juana OST 2020

⁶¹ Comisión Europea 2021c

⁶² Comisión Europea 2021b

Entre los profesionales entrevistados para elaborar este informe, la mayoría de los empleados sénior de este campo tenían estudios superiores, aunque no necesariamente de informática. También predominaban los estudios de física y matemáticas. En todo el mundo, alrededor del 28 % de los usuarios de LinkedIn que se autodenominaban expertos en IA habían recibido educación formal en informática, mientras que el resto provenían de otras disciplinas relacionadas, como la física y las matemáticas.⁶³

Un porcentaje relativamente alto de las contribuciones al campo de la IA en España provienen del sector empresarial, en comparación con las procedentes del ámbito académico. Las empresas representan el 28 % de las contribuciones a la IA, y las instituciones académicas, el 72 %. Estas cifras señalan que, en España, el sector empresarial está aportando un porcentaje mucho más alto que en otros países. Por ejemplo, en China, el 90 % de la investigación de alto impacto procede de la esfera académica. En todos los países, las contribuciones de mayor impacto al ámbito de la IA proceden del sector académico, más que de las empresas. El país donde el sector empresarial alcanza el porcentaje más alto es Francia, con un 30 %.⁶⁴

Aunque los científicos entrevistados para la elaboración del informe pensaban en mayor proporción que España es un entorno hostil para la innovación y la excelencia en IA y otros campos, los del ámbito empresarial no consideraban que el talento fuera un gran obstáculo para sus proyectos. La mayoría de las quejas de los científicos estaban relacionadas con la falta de financiación y la fuga de cerebros; en cambio, las empresas parecen considerar la IA como un campo interesante y atractivo para los trabajadores.

⁶³ Kisser y Mantha 2019

⁶⁴ *Ibid.*

8. Las múltiples fuentes de financiación para los proyectos españoles

Existen numerosas vías de financiación pública y gubernamental, como becas, subvenciones, deducciones, préstamos, avales, participaciones, premios y contratos públicos. Aunque este tipo de recursos puede provenir de instituciones públicas y gubernamentales de diversos niveles, en el campo de la IA y el cambio climático en España, la UE es la principal fuente de financiación a escala transnacional, nacional, regional y local.

La financiación europea, por lo tanto, desempeña un papel fundamental tanto para apoyar la investigación académica en proyectos de excelencia como para proporcionar financiación inicial a las *start-ups* de este ámbito. A menudo, esas ayudas se complementan con fondos españoles.

No obstante, aunque haya financiación, se trata de un entorno muy competitivo y para solicitar los fondos se requieren muchos recursos. Esto puede ser una barrera para quienes desean acceder a esos fondos, pero no disponen de la orientación y los contactos adecuados, no pueden demostrar el interés en su proyecto o no ofrecen algo claramente innovador que aporte ventajas significativas.

Programas de financiación de la Comisión Europea

Horizonte 2020 (H2020), un plan que ha finalizado recientemente, ha sido durante estos años el Programa Marco de Investigación e Innovación de la UE. Se trataba del mayor programa de financiación europeo hasta la fecha, con casi 80.000 millones de euros disponibles a lo largo de siete años, entre el 2014 y el 2020. La financiación aportada a través de H2020 se centró en tres pilares: ciencia excelente, liderazgo industrial y retos sociales; y se asignó a través de diferentes iniciativas.⁶⁵

Este plan comprendía cuatro tipos de subvenciones del Consejo Europeo de Investigación (CEI), de especial importancia para la investigación: subvenciones de inicio, de consolidación, avanzadas y para crear sinergias. Las dotaciones variaban entre 1,5 y 2,5 millones de euros. Además, el CEI adjudicó subvenciones de menor importe para realizar pruebas de concepto, con una dotación de 150.000 euros.⁶⁶

⁶⁵ Comisión Europea s.f., e

⁶⁶ Consejo Europeo de Investigación 2017

La principal convocatoria de H2020, a la que se asignó un presupuesto de 1000 millones de euros, es especialmente relevante. La convocatoria del Pacto Verde Europeo, impulsada en septiembre del 2020 en respuesta a la crisis provocada por la COVID-19, aspira a apoyar la recuperación de Europa “convirtiendo los retos ecológicos en oportunidades de innovación”⁶⁷. En febrero del 2021 se anunció el primer programa de trabajo de Horizonte Europa, el nuevo marco de investigación y desarrollo para 2021-2027, que ha comenzado a desplegar más de 100.000 millones de euros en financiación.⁶⁸ En este programa, la sostenibilidad, la ecología y la atención al cambio climático son prioridades esenciales, presentes en todo el programa de forma tanto directa (abordar el cambio climático representa el 35 % del presupuesto previsto) como transversal.⁶⁹ En concreto, dentro del segundo pilar del programa (“Retos globales y competitividad industrial europea”), la investigación y la innovación se dividen en seis grupos de actividades:

- 1 Salud
- 2 Cultura, creatividad y sociedad inclusiva
- 3 Seguridad civil para la sociedad
- 4 Mundo digital, industria y espacio
- 5 Clima, energía y movilidad
- 6 Alimentación, bioeconomía, recursos naturales, agricultura y medio ambiente⁷⁰

Los grupos 5 y 6 están directamente relacionados con el cambio climático y la sostenibilidad, mientras que el 4 es esencial para la IA y otras tecnologías de la información y la comunicación (TIC). Sin embargo, todos los grupos incluyen el interés por influir en los Objetivos de Desarrollo Sostenible (ODS), y algunos de los ODS son metas específicas de las actividades. Del mismo modo, las temáticas de la IA y los datos, que se consideran tecnologías habilitadoras esenciales, están presentes en todos los grupos.⁷¹

Por otro lado, el programa define 5 misiones como una serie de medidas interdisciplinarias para resolver los retos más urgentes de la sociedad en un plazo determinado y con un presupuesto específico. En los próximos años, se iniciarán cientos de proyectos piloto a la búsqueda de soluciones innovadoras para cada una de estas misiones. De nuevo, cuatro de estas misiones están relacionadas con el cambio climático y los ecosistemas naturales. Son las siguientes:

- Adaptación al cambio climático, incluida la transformación de la sociedad
- Océanos, mares, costas y aguas continentales saludables
- Ciudades inteligentes y climáticamente neutras
- Alimentación y salud del suelo⁷²

También hay importantes oportunidades de financiación en el programa Europa Digital, una

⁶⁷ Comisión Europea 2020c

⁶⁸ Comisión Europea 2021e

⁶⁹ Comisión Europea 2019b

⁷⁰ Unión Europea 2020

⁷¹ *Ibid.*

⁷² *Ibid.*

iniciativa de la UE para apoyar la transformación digital de la sociedad “centrada en aumentar las capacidades estratégicas de la UE y facilitar un amplio despliegue de las tecnologías digitales”. Incluye los centros de innovación digital que hemos mencionado anteriormente y tiene un presupuesto de 9.200 millones de euros para los años 2021-2027.^{73, 74}

Financiación en España

En septiembre del 2020 se anunció la Estrategia Española de Ciencia, Tecnología e Innovación 2021-2027.⁷⁵ Uno de los aspectos más destacables es el nuevo compromiso público “de duplicar la suma de inversiones pública y privada en investigación y desarrollo”, en comparación con los niveles del 2018. Esto significaría una inversión del 2,12 % del PIB antes del 2027.⁷⁶ Como consecuencia directa de la pandemia de la COVID-19, la estrategia se ha dividido en dos fases:

- La primera fase, correspondiente a los años 2021-2023, se centrará en el sector de la salud, además de contar con una gran inversión para apoyar la transición ecológica y la digitalización, en línea con la estrategia de la UE.
- La segunda fase, 2024-2027, tratará de consolidar las bases nacionales y habilitar una economía basada en el conocimiento.⁷⁷

Dos de los seis sectores estratégicos son de especial importancia en este contexto:

- Clima, energía y movilidad: lucha contra el cambio climático, descarbonización, movilidad y sostenibilidad
- Alimentación, bioeconomía, recursos naturales y medio ambiente: desde la biodiversidad hasta una cadena agroalimentaria inteligente y sostenible, pasando por el estudio de las aguas y los océanos⁷⁸

Además, durante el período 2021-2023, se asignará cierta financiación a través de la Estrategia Nacional de Inteligencia Artificial. Dicha estrategia incluye “una inversión pública de 600 millones de euros entre el 2021 y el 2023” y 330 millones adicionales en el presupuesto nacional “para la inteligencia artificial y la economía de los datos”⁷⁹.

De un modo u otro, es razonable esperar que haya numerosas oportunidades de financiación para los proyectos relacionados con el cambio climático y la IA.

El Ministerio de Asuntos Económicos y Transformación Digital ofrece deducciones fiscales para las actividades de investigación y desarrollo; las actividades de innovación tecnológica; la adquisición de tecnología avanzada mediante patentes, licencias, conocimiento y diseños, y la obtención del certificado de cumplimiento de las normas de calidad de la serie ISO 9000, las prácticas correctas de fabricación o estándares similares (sin incluir los gastos correspondientes a la implementación de dichos estándares).⁸⁰

⁷³ Comisión Europea 2021d

⁷⁴ Comisión Europea 2021f

⁷⁵ Gobierno de España 2020a

⁷⁶ Gobierno de España 2020b

⁷⁷ *Ibid.*

⁷⁸ Gobierno de España 2020b

⁷⁹ Gobierno de España 2020c

⁸⁰ Ministerio de Ciencia e Innovación, s.f.

Enisa es una empresa propiedad del Estado y gestionada por la Dirección General de Industria y de la Pequeña y Mediana Empresa. Ofrece financiación alternativa a las pymes emprendedoras españolas. Es una de las principales fuentes de financiación en España y se ha mencionado a menudo en las entrevistas realizadas para elaborar este informe. Esta entidad ha prestado 1.000 millones de euros a más de 6.600 empresas. Algunos de sus instrumentos de financiación más destacados son Enisa Jóvenes Emprendedores, Enisa Expansión y Enisa Desarrollo.⁸¹

Además, algunos bancos ofrecen créditos destinados a emprendedores y a proyectos de innovación. CaixaBank tiene la entidad MicroBank, especializada en conceder microcréditos de 50.000 euros destinados a empresas. También hemos observado que, en los últimos años, se han multiplicado las iniciativas de *crowdfunding* ('microfinanciación colectiva') como La Bolsa Social, Capital Cell, Crowdcube y Startupxplore.

Por último, hay fundaciones que también están impulsando el desarrollo de proyectos. Una de ellas es la Fundación Biodiversidad, creada en 1998, que hoy forma parte del Ministerio para la Transición Ecológica y el Reto Demográfico. Gestiona sus propias ayudas financieras para proyectos de diversos ámbitos, incluidos el cambio climático y la calidad ambiental.⁸²

Desde el 2014, la Fundación BBVA también ofrece un programa de ayudas muy interesantes para ámbitos como la ecología y la biología de la conservación, la economía y la sociedad digital, y el *big data*. En todas estas áreas hay espacio para proyectos relacionados con la aplicación de la IA.⁸³

⁸¹ Enisa 2020

⁸² Fundación Biodiversidad, s.f.

⁸³ Fundación BBVA, s.f.

9. Cómo puede ayudar la IA al sector privado a ser más eficiente e inocuo para el clima

Los diversos usos de la IA y la adaptación al cambio climático pueden beneficiar a los principales sectores industriales y de exportación españoles de varias maneras, tal y como se desglosa en la tabla incluida al final de este apartado. La estrategia España Digital 2025 articula estas oportunidades reiteradamente, ya que son clave para la estrategia en sí. Pero, si el sector privado no aprovecha esta oportunidad y no entiende cómo y dónde puede aplicarse la IA para transformar y mejorar los modelos de negocio y productivos, lo más probable es que el plan España Digital 2025 solo consiga una parte de sus objetivos.

En España, el turismo es el principal generador de ingresos por exportaciones: en el 2019, los turistas internacionales se gastaron 92.000 millones de euros.⁸⁴ España es el segundo país más visitado de Europa. No obstante, al ser un destino muy popular por sus temperaturas cálidas y la belleza de sus playas, ciudades y paisajes, el sector turístico español está a merced del clima y la geografía. Por lo tanto, es un sector vulnerable a los efectos del cambio climático.⁸⁵

Las aplicaciones de la IA relacionadas con el turismo incluyen el uso de sensores remotos para monitorizar el aumento del nivel del mar; el modelado de los cambios climáticos pronosticados para identificar las áreas en riesgo por inundaciones, olas de calor o incendios; la mejora de la eficiencia de los sistemas de calefacción y refrigeración mediante controles automáticos, y la identificación y priorización de los edificios que hay que modernizar.

El sector del automóvil es el mayor exportador industrial de España.⁸⁶ La inteligencia artificial puede ayudar a diseñar y operar motores para mejorar la eficiencia, proporcionar *proxies* para los modelos aerodinámicos complejos que se utilizan en el diseño de vehículos y mejorar los procesos de fabricación de sus componentes para que sean más ligeros.⁸⁷ Además, la IA puede contribuir a mejorar los vehículos eléctricos modelando y programando las cargas, integrando dichos vehículos en la red eléctrica y desarrollando y optimizando sus baterías.^{88, 89}

⁸⁴ Ministerio de Industria, Comercio y Turismo 2020

⁸⁵ Moreno 2019

⁸⁶ Harvard Growth Lab 2017

⁸⁷ Climate Change AI 2020

⁸⁸ Frendo *et al.* 2020

La agricultura aporta más de 49.000 millones de euros anuales a la economía española.⁹⁰

La IA y la agricultura de precisión pueden ayudar a la agricultura española en la transición hacia métodos que consuman menos recursos. También pueden contribuir a monitorizar las emisiones, anticipar el impacto del cambio climático en los cultivos y diversificar los cultivos.

España es un referente mundial en energías limpias como exportadora de tecnologías y como productora de energía. Se centra sobre todo en la energía eólica, aunque la solar y la nuclear también son muy relevantes. Este sector tiene mucho potencial, ya que la inteligencia artificial puede ayudar a mejorar las predicciones de demanda y suministro de energía, mejorar los algoritmos de programación de la electricidad, controlar el almacenamiento y la demanda flexible, definir en tiempo real unos precios de la electricidad que reduzcan las emisiones de CO₂, contribuir al diseño de mejores paneles y baterías solares, controlar de forma adaptativa la orientación de las turbinas y los paneles solares, diseñar mejores reactores nucleares, hacer un mantenimiento predictivo de la infraestructura renovable y gestionar y supervisar la red eléctrica, entre muchas otras posibilidades.⁹¹

España representa alrededor del 1,3 % de las exportaciones mundiales de petróleo.

A medida que el mundo avanza hacia una energía más limpia, es probable que disminuya la demanda de petróleo. La IA puede ayudar a predecir la demanda a largo plazo, con lo que puede contribuir a definir la transición de la economía a medida que dejen de utilizarse los combustibles fósiles. La IA también puede acelerar la investigación en biocombustibles, una de las posibles vías para transformar la industria.

La gran industria metalúrgica española puede emplear la IA para reducir las emisiones de GEI procedentes de los sistemas industriales de calefacción, ventilación y aire acondicionado HVAC, por sus siglas en inglés, y de otros mecanismos con control adaptativo; ofrecer a los consumidores información sobre la huella de carbono de los productos, y aplicar técnicas de mantenimiento predictivo a los equipos industriales. En cuanto a los metales, la IA se puede incorporar a los procesos de revestimiento que requieren más tiempo y energía, de manera que se utilicen fuentes renovables. También puede ayudar a descubrir alternativas a los procesos actuales de producción del acero, que contaminan y emiten GEI, para reducir su impacto climático.

⁸⁹ Climate Change AI 2020

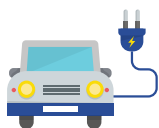
⁹⁰ Comisión Europea 2020e

⁹¹ Climate Change AI 2020



Turismo

- Monitorización del aumento del nivel del mar
- Identificación de lugares turísticos expuestos a riesgos climáticos
- Priorización de los edificios que hay que modernizar con mayor urgencia



Industria del automóvil

- Mejora de la eficiencia de los vehículos
- Mejora de los procesos industriales
- Creación de vehículos eléctricos



Agricultura

- Anticipación de las consecuencias del cambio climático para la agricultura
- Información para la diversificación de cultivos
- Agricultura de precisión



Energía limpia

- Mantenimiento predictivo
- Aceleración de la investigación en diseño de baterías, perovskita y reactores nucleares
- Control adaptativo de paneles solares y turbinas



Petróleo

- Predicción de la demanda de petróleo
- Aceleración de la investigación sobre biocombustibles



Metal

- Control adaptativo
- Ahorro de tiempo en revestimientos
- Aceleración de la investigación sobre una producción de acero respetuosa con el clima

Figura 4. Principales sectores españoles y tecnologías de IA+CC relacionadas. Fuente de la imagen: Digital Future Society.

Fuente de los datos: Climate Change AI 2020.

10. Ya está pasando: cinco proyectos españoles que tienes que conocer

En esta sección, se presentan varios proyectos españoles que emplean la IA para la mitigación del cambio climático o la adaptación a él:

- **AI for Understanding and Modelling the Earth System (USMILE)** es una iniciativa internacional de investigación que aplica técnicas vanguardistas de aprendizaje automático híbrido para mejorar los modelos climáticos.
- **Orpheus (anteriormente, Maichinery)** es una *start-up* que desarrolla un sistema de control automático de los edificios basado en el aprendizaje automático para mejorar la eficiencia de la calefacción.
- **DEXMA** es una *scale-up* (una *start-up* en expansión) que desarrolla soluciones de ciencia de datos para mejorar la eficiencia en el consumo de energía.
- **Low Carbon at Work (LOCAW)** es un proyecto de investigación internacional, interdisciplinar y de tamaño intermedio que aprovecha la IA tradicional para generar recomendaciones sobre políticas.
- **Artificial Intelligence for Ecosystem Services (ARIES)** es un concepto de sistema semántico para mejorar nuestra comprensión de las interacciones medioambientales gracias a la IA.

Hemos seleccionado estos proyectos porque representan la diversidad de ámbitos y capacidades que confluyen actualmente en la intersección entre la IA y el cambio climático en España. Además, estos proyectos son una muestra de la IA que se investiga, desarrolla y financia dentro de España, e incluyen colaboraciones internacionales, proyectos académicos y *start-ups*.

Cada estudio de caso incluye:

- Un resumen del proyecto y sus participantes
- El impacto previsto del proyecto, en función de su trayectoria si ya se ha implementado, y su potencial de crecimiento
- Qué supone el proyecto para España



Figura 5. Mapa de España con la ubicación de los casos estudiados. Fuente de la imagen: Digital Future Society.

Estudio de caso n.º 1: AI for Understanding and Modelling the Earth System (USMILE)



AI for Understanding and Modelling the Earth System (USMILE) —en castellano, 'IA para entender y modelar el sistema terrestre'— es un proyecto de investigación internacional e interdisciplinar de seis años de duración. Su objetivo es desarrollar modelos híbridos que combinen la física y el aprendizaje automático para mejorar las capacidades actuales de modelado y proyección del cambio climático.

Hoja de ruta y tecnología

USMILE se financia con una subvención del Consejo Europeo de Investigación (CEI) para crear sinergias, de 10 millones de euros, y está dirigido por cuatro investigadores de distintos países: Gustau Camps-Valls, del Laboratorio de Procesado de Imágenes de la Universidad de Valencia; Veronika Eyring, del Centro Aeroespacial Alemán

(DLR); Pierre Gentine, de la Universidad de Columbia de Nueva York, y Markus Reichstein, del Instituto Max Planck.⁹³ El proyecto, que se desarrollará a lo largo de seis años, comenzó en septiembre del 2020 y se divide en cuatro áreas de trabajo.

El investigador principal, el español Gustau Camps-Valls, había recibido anteriormente una subvención del CEI para llevar a cabo el proyecto Statistical Learning for Earth Observation Data Analysis ('Aprendizaje estadístico para el análisis de datos de observación de la Tierra'). Durante ese proyecto, que en cierto modo fue el precursor de USMILE, se desarrollaron varios algoritmos avanzados de aprendizaje automático e inferencia causal para procesar y entender los datos y los modelos de observación por satélite con sensores remotos.⁹⁴ Las cuatro áreas de trabajo de USMILE son las siguientes:

1

Modelado terrestre y atmosférico: mejorar el modelado terrestre y atmosférico de diversas variables climáticas clave, como las de biomasa, humedad del suelo y el aire, y temperatura. El objetivo de este trabajo es ir más allá en la precisión de los modelos y la cuantificación de la incertidumbre. Se pasará de los modelos actuales, con una resolución de 100 km³, a otros con una resolución de 30 m³.

2

Modelos híbridos de aprendizaje automático: desarrollar modelos híbridos de aprendizaje automático basado en datos con limitaciones físicas integradas. Este nuevo paradigma debería mejorar y acelerar los modelos climáticos más complejos. Los modelos resultantes podrían ser menos expresivos que los del aprendizaje automático convencional, para que sus predicciones obedezcan ciertas leyes de la física. Esta área de investigación toma el conocimiento de los expertos en diversas disciplinas y lo integra en los modelos, que después se ajustan automáticamente según los datos obtenidos de modelos físicos más complejos.

⁹³ Consejo Europeo de Investigación 2019

⁹⁴ SEDAL, s.f.

3

Un nuevo modelo climático: desarrollar y validar un nuevo modelo del clima comparando el gráfico de inferencia causal que relaciona las variables con el gráfico derivado de las observaciones. Una segunda prueba de validación evaluará la capacidad del nuevo modelo para abordar los fenómenos climáticos extremos y anomalías como sequías, huracanes y olas de calor.

4

Modelos de explicabilidad: desarrollar modelos de explicabilidad, intentando encontrar precursores de fenómenos extremos (teleconexiones) para desarrollar sistemas de alerta temprana y predecir mejor el clima del futuro a partir de las observaciones del presente.

Impacto y potencial de crecimiento

Este proyecto es expresamente global y sus resultados serán de utilidad en todo el mundo. El efecto más inmediato del proyecto debería ser una mejora de las proyecciones del cambio climático, que facilitará la adaptación a él; en concreto, mediante el desarrollo de herramientas de alerta temprana para predecir fenómenos extremos.

Además de este resultado inmediato, el proyecto hará que progresen las tecnologías más avanzadas de modelado híbrido, inferencia causal y explicabilidad, lo que podría dar lugar a más información útil. Por ejemplo, el trabajo sobre modelos físicos puede generar nuevas arquitecturas de aprendizaje automático que podrían aplicarse a otros ámbitos de la ciencia y la ingeniería.

Las dos primeras áreas de trabajo conllevan el desarrollo de nuevos algoritmos que amplían los avances más recientes en aprendizaje profundo y conocimiento físico, y que suponen un progreso de gran utilidad. Y, aunque las dos últimas áreas son bastante ambiciosas —por lo que puede cuestionarse su viabilidad—, la novedad de los métodos empleados y el enfoque interdisciplinar hacen de este un proyecto prometedor desde el punto de vista del valor de la información.

Qué supone para España

Este proyecto consolida a la Universidad de Valencia como centro de investigación que trabaja a la vanguardia del aprendizaje automático. Además, las prestigiosas subvenciones del CEI para crear sinergias son una señal que se cuenta con un talento extraordinario. Asimismo, que un equipo o universidad de España reciba inicialmente una subvención del CEI sienta las bases para futuras ayudas y más colaboración e impacto internacional.

Estudio de caso n.º 2: Orpheus



Orpheus (anteriormente, Maichinery) es una *start-up* de Girona en fase inicial que desarrolla soluciones de hardware y software para monitorizar, regular y optimizar el uso de energía en edificios públicos. El sistema utiliza sensores para recibir información y dispone de un panel para la monitorización y la generación de informes. Tras la instalación, hay un período de entrenamiento de 15 días durante el cual se calibra el edificio y, a partir de entonces, el sistema aprende constantemente. Cada acción se va aprendiendo por separado y se controla gracias a un sistema exclusivo, fabricado a mano. Para maximizar el impacto del proyecto, Orpheus se centra en los edificios públicos que emplean sistemas de calefacción anticuados.

Hoja de ruta y tecnología

Orpheus, fundado por dos ingenieros de IA, se puso en marcha en el año 2019 y ahora cuenta con un equipo de seis personas. Su sistema se ha instalado en 10 edificios y el objetivo es llegar a los 500 para el 2023. La *start-up* ha recibido financiación mediante el programa Enisa Jóvenes Emprendedores, con un préstamo de 90.000 euros. También ha participado en dos programas de aceleradoras, Ship2B y EIT Innoenergy.

El principal producto de Orpheus es su plataforma de conserje virtual, también denominada Orpheus, que funciona con sensores de largo alcance que pueden colocarse en cualquier superficie, así como actuadores (mecanismos de control) de termostatos de largo alcance. Se suele tardar solo dos horas en configurar la plataforma y los sensores. La plataforma Orpheus recopila datos de los sensores y controla la temperatura automáticamente o avisa a los usuarios si se produce alguna anomalía. El sistema controla las acciones de manera adaptativa. Por ejemplo, enciende el termostato por la mañana, lo apaga por la noche, mantiene la temperatura deseada, avisa al usuario si hay un grado de humedad inusual, etc.

Para evitar que el sistema extrapole sus conclusiones a situaciones que no entiende, las clasifica comparándolas con las situaciones a las que se ha enfrentado anteriormente. Si decide que la situación actual es anómala, aplica la programación predeterminada en lugar de tomar una nueva decisión. Por ejemplo, si en el exterior hace mucho más frío de lo normal y el sistema no está entrenado con temperaturas similares, enciende la calefacción tal y como la haya programado el cliente y aprende de esa decisión, en lugar de actuar por su cuenta. Este es un ejemplo de exploración segura.

La plataforma Orpheus es un ejemplo práctico de innovación en IA basada en tareas, así como de las oportunidades que existen actualmente para la investigación en el campo de la IA y los productos relacionados con ella. Utiliza el control adaptativo para calibrar la temperatura, y la exploración segura para decidir cuándo dejar que el sistema de IA tome las decisiones en lugar de volver a la configuración predeterminada. También hace uso del aprendizaje *few-shot* (aprendizaje automático a partir de muy pocos datos) para calibrar el sistema rápidamente.

⁹⁵ MacKay 2008

Impacto y potencial de crecimiento

Mejorar la eficiencia de los sistemas de calefacción y refrigeración es uno de los métodos más eficaces para mitigar el cambio climático.⁹⁵ Por lo general, modernizar los edificios mejorando el aislamiento es el primer paso para reducir la huella de la calefacción y la refrigeración de un edificio. Sin embargo, los controles de HVAC también desempeñan un papel fundamental a la hora de optimizar el uso de la energía. El equipo de Orpheus calcula que, gracias a su sistema, las emisiones de calefacción y refrigeración de los edificios se pueden reducir entre un 10 % y un 15 %.

La empresa tiene planes de ampliar el producto para controlar también la iluminación y otros aspectos de los edificios. Sin embargo, en cuanto a las emisiones, en principio seguirá dando prioridad a mejorar la eficiencia de la calefacción y la refrigeración.

El equipo de Orpheus quiere desarrollar un producto ampliable que sea compatible con una gran variedad de edificios y que requiera una instalación y configuración mínimas. Esto supone una ventaja a corto plazo en comparación con soluciones más tradicionales como el aislamiento, cuyo coste inicial de instalación es muy alto.

Actualmente, Orpheus trabaja con clientes locales y tiene planes de expandirse a escala nacional.

Qué supone para España

La historia y el producto de Orpheus son un ejemplo de la cultura de las *start-ups* en España, cada vez más dinámica, gracias a la cual es posible convertir en productos los conocimientos especializados.

El apoyo que han recibido es prácticamente una garantía de éxito, y otros innovadores españoles pueden seguir sus pasos. En particular, los programas de aceleradoras en los que ha participado el equipo han sido fundamentales para su buena trayectoria. Gracias a estos programas, Orpheus ha podido crear una red, que ha aprovechado muy bien para obtener financiación y el apoyo de mentores.

Estudio de caso n.º 3: DEXMA



DEXMA es una empresa de software de tamaño mediano ubicada en Barcelona. Utiliza métodos de predicción y aplicaciones de control para ofrecer productos basados en la ciencia de datos que permiten gestionar la eficiencia del consumo energético en el lado de la demanda. Tiene unos 50 empleados y ha prestado servicios a 4.000 organizaciones de más de 30 países.

Hoja de ruta y tecnología

DEXMA fue creada en el año 2007 por un equipo de ingenieros informáticos. Tras experimentar con diferentes sectores, el equipo decidió especializarse en software de eficiencia energética en el 2010. Actualmente, con las bases de datos de sus clientes, DEXMA monitoriza unos 100.000 edificios.

El primer producto de la empresa, DEXMA Analyse, fue una interfaz de visualización de datos que mostraba estadísticas

y análisis de los patrones de consumo energético en tiempo real para entidades comerciales e industriales. Desde entonces ha lanzado otros dos productos: DEXMA Detect y DEXMA Optimise.

DEXMA Detect aprovecha la base de datos de sus clientes actuales para extraer información útil con gran exactitud y predecir cómo podrían aumentar su eficiencia los nuevos clientes. El sistema agrupa a los clientes similares y relaciona sus datos, incluidos sus patrones de consumo y sus datos climáticos y geográficos, para identificar las áreas donde se podría ahorrar más energía.

DEXMA automatiza el proceso de auditoría energética mediante IA, segmentando el conjunto de propiedades de una empresa para decidir qué sitios tienen el mayor potencial de ahorro energético. Utiliza modelos de IA con monitorización de cargas no intrusiva NILM, por sus siglas en inglés para desagregar el consumo de datos de forma virtual y remota, y emplear modelos basados en IA para calcular el ahorro.

DEXMA Optimise es un producto de detección de anomalías que usa una red neuronal para avisar automáticamente si identifica algo inusual en el consumo de energía. Este sistema utiliza los datos anuales sobre consumo energético y varios sensores (puntos de datos) colocados alrededor del edificio para entrenar un modelo de IA del edificio. Incorpora parámetros temporales (hora y día de la semana) y otros datos opcionales (clima y días festivos) para crear un modelo estadístico que estima la franja de consumo esperada. El modelo se vuelve a entrenar cada mes y avisa a la empresa cuando detecta una anomalía, aunque entiende que no todas las diferencias lo son y sabe cuándo emitir una alerta y cuándo no.

DEXMA no se centra en ampliar el desarrollo de la IA, sino que aprovecha los modelos de IA de última generación para ayudar a organizaciones de todo el mundo a reducir su impacto sobre el clima.

Cuenta con un departamento de investigación y desarrollo (I+D) de tamaño considerable y ha participado en 13 proyectos de eficiencia energética en los últimos 5 años. En apoyo a sus iniciativas de I+D, DEXMA ha recibido más de 800.000 euros del programa de la UE Horizonte 2020. Para obtener financiación y poder crecer e internacionalizarse, también ha contado con el apoyo del Centro para el Desarrollo Tecnológico Industrial (CDTI) de España, así como del programa Eurostars de la UE.

Asimismo, ha recibido apoyo local mediante el plan *Acció: Nuclis - Comunitats de l'energia*, que ayudó a DEXMA a obtener financiación de Horizonte 2020 a través del programa SME Instrument.⁹⁶

Impacto y potencial de crecimiento

Los sistemas de DEXMA se han instalado en 100.000 edificios de diferentes países, por lo que sus evaluaciones y recomendaciones influyen significativamente en el consumo energético —y, con ello, en las emisiones de GEI— en diversas partes del mundo. Sin embargo, el impacto de DEXMA es indirecto, ya que proporciona información, recomendaciones y alertas para que los administradores de los edificios tengan en cuenta esos datos.

Las empresas como DEXMA pueden desempeñar un papel muy importante a la hora de motivar a los propietarios de los edificios a tomar las medidas necesarias para hacerlos más eficientes. El proyecto DREEAM de DEXMA aspira a reducir la demanda energética un 70 %, teniendo en cuenta las recomendaciones tecnológicas, la capacidad financiera, las preferencias de los inquilinos, los sistemas de energía que incluyen la reducción de la demanda energética, la generación de energías renovables, el almacenamiento de energía y el control dinámico.⁹⁷

Qué supone para España

DEXMA es un ejemplo de empresa española que opera internacionalmente en el sector industrial de la eficiencia energética, muy competitivo. Ha logrado penetrar en este mercado con sus servicios de software y, al mismo tiempo, se ha centrado en la reducción del cambio climático como objetivo empresarial.

Muestra cómo, gracias a la financiación para la innovación y la expansión, obtenida a través de programas europeos, nacionales y regionales, las *start-ups* españolas pueden innovar y tener éxito en entornos competitivos.

Actualmente, DEXMA se está preparando para colaborar con iniciativas y programas nuevos y emergentes como DataHub, así como con otros proyectos coordinados que podrían poner en marcha tanto el Gobierno de España como la UE para promover la sostenibilidad en las empresas.⁹⁸

⁹⁶ Acció, s.f.

⁹⁸ DataHub 2020

⁹⁷ DEXMA 2020

Estudio de caso n.º 4: Low Carbon at Work (LOCAW)



Low Carbon at Work (LOCAW) — en castellano, ‘Bajo carbono en el trabajo’ — es un proyecto interdisciplinar que ha utilizado el modelado basado en agentes para entender los patrones de comportamiento relacionados con el consumo de los materiales y la energía, la generación y gestión de residuos, y la movilidad vinculada al trabajo.⁹⁹

Hoja de ruta y tecnología

En LOCAW participaron siete entidades de investigación: la Universidad de La Coruña, principal coordinadora; la Universidad de Umeå (Suecia); la Universidad del Oeste de Timișoara (Rumanía); la Universidad de Surrey (Reino Unido); el Instituto Macaulay de Investigación de la Tierra (Reino Unido);

la Universidad de Groninga (Países Bajos), y el Centro Interuniversitario de Investigación en Psicología Ambiental de la Universidad de Roma La Sapienza (Italia).

En total, 42 investigadores participaron en el proyecto. Ricardo García Mira, de la Universidad de La Coruña, es el coordinador principal.

El proyecto LOCAW se basó en seis estudios de casos de empresas y organizaciones de la industria pesada, el sector público y los servicios privados. A continuación, analizó los comportamientos y las prácticas sostenibles y no sostenibles de esos lugares de trabajo, para identificar los factores que determinan esas acciones. Después, se introdujeron esos datos en un modelo basado en agentes para aclarar las interacciones y extraer información sobre cuáles son las condiciones necesarias para la transición hacia una Europa con bajas emisiones de carbono. La información extraída sirvió para diseñar un modelo basado en agentes, es decir, una simulación abstracta en la que los diversos componentes interactúan de ciertas maneras preprogramadas. Un ejemplo sería un modelo que represente la probabilidad de que una persona decida seguir una recomendación específica relacionada con el clima, como utilizar el transporte público en vez de ir en coche.

El modelo basado en agentes se desarrolló para someter a pruebas las suposiciones derivadas de estudios empíricos y, también, para probar de forma dinámica las políticas que podrían influir en las acciones cotidianas.

Para crear el modelo, se diseñaron agentes que interactuaban entre sí y reaccionaban de ciertas formas predeterminadas, según los parámetros inferidos de la anterior investigación interdisciplinar. Y, por ejemplo, dentro del modelo, el uso del coche se restringe o se hace menos atractivo. En ese caso, los agentes son personas que deciden si utilizar el coche o no según su propia sensibilidad a las políticas y las decisiones de los demás. Esta sensibilidad

⁹⁹ Low Carbon at Work 2020

se incorporó al modelo de acuerdo con la información obtenida en estudios previos, grupos de debate y documentos de las organizaciones.

Internamente, los agentes son modelados mediante un árbol de decisión y aprenden su comportamiento de manera automática, a partir de los datos recopilados en las encuestas. La ventaja más característica de este método es que es muy interpretable, lo que ayuda a que los expertos en la materia puedan examinarlo y realizar modificaciones más adelante.¹⁰⁰

El proyecto recibió casi 1,5 millones de euros de financiación del 7.º Programa Marco de la Unión Europea.¹⁰¹

Impacto y potencial de crecimiento

Esta investigación no abrió nuevos caminos para la IA, pero ese no era el objetivo del proyecto. LOCAW es un ejemplo muy interesante de cómo integrar en los procesos de toma de decisiones los datos extraídos de investigaciones y originados a partir de modelos informáticos.

Por ejemplo, los árboles de decisión representan a qué factores son más sensibles las personas a la hora de seguir o no una recomendación. Entre otras conclusiones, descubrieron que el biosferismo —preocuparse por el medioambiente por su valor intrínseco— es un factor más importante que el altruismo al decidir si coger el coche. Este hallazgo puede ser útil para adaptar las campañas de transporte público de manera que interesen a más personas.

Los modelos de LOCAW se tienen que ajustar a nivel local, pero los métodos desarrollados se pueden replicar en cualquier parte. La metodología de LOCAW ofrece una sistematización de un proceso de modelado complejo, que permite entender los efectos emergentes al implementar diferentes políticas a la vez.

Estos modelos ya están influyendo en las políticas. LOCAW llegó a un acuerdo con una de las entidades de los casos estudiados, la Universidad de La Coruña, para colaborar e implementar medidas específicas que respaldaran la transición hacia prácticas sostenibles en la universidad; por ejemplo, que en los procesos de contratación se valore el biosferismo, lo que tendría un impacto directo.

Las herramientas de LOCAW proporcionan información útil para actuar, y una forma de reflexionar sobre el impacto de las diferentes políticas medioambientales. No obstante, las conclusiones pueden derivar de las suposiciones introducidas en el modelo, así como de la investigación interdisciplinar previa en la que se recopilaron los datos necesarios para ajustar el modelo. Por ello, puede ser difícil confirmar el impacto contrafactual de LOCAW, especialmente el de sus modelos basados en agentes.

En cualquier caso, LOCAW es un ejemplo notable de investigación interdisciplinar y ajustada a objetivos sociales.

¹⁰⁰ Domeisen *et al.* 2018

¹⁰¹ Cordis 2020

Qué supone para España

La iniciativa LOCAW no solo refleja el sobresaliente talento de sus investigadores, sino también el interés de las instituciones públicas y las empresas privadas de España en colaborar y probar distintas políticas medioambientales. Hay voluntad de invertir en las cuestiones ambientales que España debería promover y desarrollar. Una de las fortalezas de este proyecto es su interdisciplinariedad, ya que en él han participado psicólogos, lo que puede sentar las bases de otras colaboraciones futuras igualmente fructíferas.



Estudio de caso n.º 5: Artificial Intelligence for Ecosystem Services (ARIES)

A partir de una simple consulta de los usuarios, Artificial Intelligence for Ecosystem Services (ARIES) compone todos los elementos que intervienen en la interacción entre la naturaleza y la sociedad. Después, los conecta dentro de una red de flujo con el fin de crear los mejores modelos posibles para cada elemento e interacción. El resultado es una evaluación detallada, adaptativa y dinámica de cómo la naturaleza

beneficia a la sociedad y a los ciudadanos.

ARIES opta por modelos de procesos ecológicos cuando corresponde, y recurre a modelos más sencillos para los casos en que no hay modelos de procesos o si estos son inadecuados. ARIES no es un modelo, sino un creador de modelos y de colecciones de modelos.

Este proyecto se divide en dos componentes:

- Una base de datos semántica de conjuntos de datos y componentes de modelos que emplea una IA basada en reglas para crear flujos de datos automáticamente a partir de las consultas de los usuarios; elige entre varias soluciones alternativas mediante criterios automáticos y designados manualmente.
- Una infraestructura para diseñar y alojar simulaciones interactivas de sostenibilidad y, así, estudiar fenómenos complejos como los modelos hidrológicos, que pueden usarse como componentes dinámicos en el marco de modelado descrito más arriba.

Hoja de ruta y tecnología

El proyecto ARIES comenzó en abril del 2007 en la Universidad de Vermont, financiado con

una subvención de un millón de dólares de la Fundación Nacional de Ciencias del Gobierno de Estados Unidos. A lo largo del siguiente año, se desarrolló un prototipo del sistema de modelado, y en el 2012 se publicó en Internet un prototipo funcional.

Finalmente, el equipo se trasladó al Centro Vasco para el Cambio Climático (BC3), donde se ha seguido desarrollando esta tecnología desde entonces. El equipo de ARIES es pequeño: sus 10 miembros se han ampliado a 19 recientemente.

La principal funcionalidad de ARIES consiste en un motor semántico. Los usuarios pueden subir bases de datos y modelos con la implementación de una relación de entrada/salida. Después, pueden consultar al sistema introduciendo el tipo de datos de salida que desean obtener, especificado en un lenguaje declarativo propio llamado k.IM.

El motor de inferencia resuelve cómo se pueden combinar los diferentes modelos y bases de datos para obtener los datos de entrada especificados por el usuario, y seleccionar una de las combinaciones según ciertos criterios personalizados y automatizados. Estos criterios representan determinados parámetros objetivos y subjetivos (por ejemplo, la cantidad de datos disponibles o la calidad de los datos, respectivamente), y el motor de inferencia devuelve el modelo combinado que obtiene la puntuación más alta de acuerdo con dichos criterios.

Aparte de esto, existe un sistema más amplio denominado k.LAB. Es una infraestructura diseñada para alojar simulaciones interactivas, abstracciones de los sistemas físicos que interactúan entre sí de formas predefinidas para modelar fenómenos más complejos.

ARIES se puede utilizar, por ejemplo, para crear sistemas de alerta temprana que avisen si hay riesgo de inundaciones, lo cual es relevante para la adaptación al cambio climático: lo más probable es que aumente el número de inundaciones, y este sistema ayudaría a gestionarlo.^{102, 103}

Estos son algunos de los planes de este proyecto de cara al futuro:

- Aumentar los criterios de selección mediante aprendizaje automático. Probablemente, para ello habrá que encontrar un equilibrio entre la transparencia y la eficiencia del motor de inferencia.
- Colaborar con algunos países para implementar, utilizando la tecnología de ARIES, un Sistema de Contabilidad Ambiental y Económica (SCAE) conforme a las recomendaciones de la ONU.¹⁰⁴
- Ampliar el sistema para que aborde otros problemas.

¹⁰² Balbi *et al.* 2015

¹⁰³ NHESS 2016

¹⁰⁴ SCAE, s.f.

¹⁰⁵ En Balbi *et al.* 2015, se puede consultar un ejemplo en el que se usa la herramienta ARIES para implementar prácticas agrícolas de captura de carbono con poco impacto en la producción; hay otros ejemplos de uso en Aries 2020.

Impacto y potencial de crecimiento

ARIES se centra en diseñar un producto, algo inusual en un proyecto académico.

El sistema que se ha desarrollado es un método automático y transparente que combina los modelos seleccionados con la recopilación de datos. En este sentido, no sustituye a las iniciativas de modelado de la actualidad, sino que las complementa.

Esta característica lo sitúa en una posición única, donde la capacidad de influir va íntimamente relacionada con la capacidad de convencer y coordinar a una comunidad para desarrollar modelos conjuntamente.

En el siglo pasado, se investigaron en detalle varios modelos semánticos y sistemas expertos similares a ARIES, que finalmente se dejaron de lado. Sin embargo, la infraestructura donde se alojan los componentes de los modelos de ecosistema, reutilizables y diseñados por expertos, aporta un gran valor. Además, la situación ha cambiado mucho desde la última vez que se estudiaron los modelos expertos, en los años noventa.

La tecnología de ARIES ha captado un apoyo e interés considerable del Gobierno, la industria y el ámbito académico. Es una señal muy prometedora. No obstante, el proyecto tiene unos recursos bastante limitados y diversos obstáculos en lo relativo al talento. Con más financiación, se podría contratar a ingenieros y gestores sociales que los ayudaran a crear una comunidad activa de software libre.

La herramienta ARIES podría ser de utilidad más allá de su ámbito de aplicación inicial y podría mejorar el trabajo científico en todo tipo de disciplinas. Desde la perspectiva del cambio climático, se espera que esta iniciativa ofrezca información relacionada con la mitigación del cambio climático y la adaptación a este.¹⁰⁵

Qué supone para España

ARIES es un ejemplo representativo de los proyectos que se han empezado en otros países, pero han podido seguir adelante en el entorno y con la financiación que ofrece España. A través de su diseño, ARIES intenta crear una comunidad de intercambio de prácticas en torno a su tecnología y, si lo consigue, posicionará al BC3 como una referencia internacional en servicios del ecosistema. También es posible que la tecnología prospere más allá de este ámbito y tenga un impacto aún mayor, el sello distintivo de los proyectos más importantes.

El grado de flexibilidad y el continuo apoyo del Gobierno vasco han sido esenciales, y seguirán siéndolo, para el desarrollo de esta tecnología.

Referencias

Acció. (s.f.) ACCIÓ helps DEXMA to access the SME Instrument Programme for the development of an energy saving software based on AI (Artificial Intelligence). [online] Disponible en: <http://een.cat/casos-exit/dexma.jsp>

Amodei, D., Olah, C., Steinhardt, J., Christiano, P., Schulman, J. y Mané, D. (2016). Concrete Problems in AI Safety. [online] Disponible en: <http://arxiv.org/abs/1606.06565>

Balbi, S., del Prado, A., Gallejones, P., Geevan, C., Pardo, G., Pérez-Miñana, E., Hernández Santiago, C. y Villa, F. (2015). Modeling trade-offs among ecosystem services in agricultural production systems. *Environ Model Software* 72:314–26.

BSC-CNS. (2020). MareNostrum. [online] Disponible en: <https://www.bsc.es/marenostrum/marenostrum>

Climate Change AI. (2020). Climate Change AI–Interactive Summary. [online] Disponible en: <https://www.climatechange.ai/summaries>

Climate Home News. (2019). Which countries have a net zero carbon goal? Climate Home News. [online] Disponible en: <https://www.climatechangenews.com/2019/06/14/countries-net-zero-climate-goal/>

Comisión Europea. (s.f., a). Plan del Objetivo Climático para 2030. [online] Disponible en: https://ec.europa.eu/clima/policies/eu-climate-action/2030_ctp_es

Comisión Europea. (s.f., b). Ley Europea del Clima. [online] Disponible en: https://ec.europa.eu/clima/policies/eu-climate-action/law_es

Comisión Europea. (s.f., c). Pacto Europeo por el Clima. [online] Disponible en: https://ec.europa.eu/clima/policies/eu-climate-action/pact_es

Comisión Europea. (s.f., d). Plan de recuperación para Europa. [online] Disponible en: https://ec.europa.eu/info/strategy/recovery-plan-europe_es

Comisión Europea. (s.f., e). What is Horizon 2020? [online] Disponible en: <https://ec.europa.eu/programmes/horizon2020/what-horizon-2020>

Comisión Europea. (2018). Communication Artificial Intelligence for Europe. [online] Disponible en: <https://ec.europa.eu/digital-single-market/en/news/communication-artificial-intelligence-europe>

Comisión Europea. (2019a). Ethics guidelines for trustworthy AI. [online] Disponible en: <https://ec.europa.eu/digital-single-market/en/news/ethics-guidelines-trustworthy-ai>

Comisión Europea. (2019b). Horizon Europe: The Next EU Research & Innovation Investment Programme (2021-2027). [PDF] Disponible en: https://ec.europa.eu/info/sites/info/files/research_and_innovation/strategy_on_research_and_innovation/presentations/horizon_europe_en_investing_to_shape_our_future.pdf

Comisión Europea. (2020a). Estrategia a largo plazo para 2050 - Acción por el Clima. [online] Disponible en: https://ec.europa.eu/clima/policies/strategies/2050_es

Comisión Europea. (2020b). Digital Innovation Hubs. [online] Disponible en: <https://s3platform.jrc.ec.europa.eu/digital-innovation-hubs-tool>

Comisión Europea. (2020c). Convocatoria del Pacto Verde Europeo: inversión de 1.000 millones de euros para impulsar la transición ecológica y digital. [online] Disponible en: https://ec.europa.eu/commission/presscorner/detail/es/ip_20_1669

Comisión Europea. (2020d). Configurar el futuro digital de Europa. [online] Disponible en: https://ec.europa.eu/info/strategy/priorities-2019-2024/europe-fit-digital-age/shaping-europe-digital-future_es

Comisión Europea. (2020e). Statistical Factsheet Spain. [PDF] Disponible en: https://ec.europa.eu/info/sites/info/files/food-farming-fisheries/farming/documents/agri-statistical-factsheet-es_en.pdf

Comisión Europea. (2020f). Apoyar la transición ecológica. [PDF] Disponible en: <https://op.europa.eu/es/publication-detail/-/publication/bd211835-5390-11ea-aece-01aa75ed71a1>

Comisión Europea. (2021a). A European approach to Artificial intelligence. [online] Disponible en: <https://digital-strategy.ec.europa.eu/en/policies/european-approach-artificial-intelligence>

Comisión Europea. (2021b). Destination Earth (DestinE). [online] Disponible en: <https://ec.europa.eu/digital-single-market/en/destination-earth-destine>

Comisión Europea. (2021c). Digital Innovation Hubs (DIHs) in Europe. [online] Disponible en: <https://ec.europa.eu/digital-single-market/en/digital-innovation-hubs-dihs-europe>

Comisión Europea. (2021d). Europe investing in digital: the Digital Europe Programme. [online] Disponible en: <https://ec.europa.eu/digital-single-market/en/europe-investing-digital-digital-europe-programme>

Comisión Europea. (2021e). El Consejo Europeo de Investigación (CEI) pondrá en marcha las primeras convocatorias en el marco de Horizonte Europa. [online] Disponible en: https://ec.europa.eu/commission/presscorner/detail/es/IP_21_685

Comisión Europea. (2021f). The 2021-2027 Multiannual Financial Framework: Digital shines through in the EU's long-term budget. [online] Disponible en: <https://ec.europa.eu/digital-single-market/en/2021-2027-multiannual-financial-framework-digital-shines-through-eus-long-term-budget>

Consejo Europeo de Investigación. (2017). ERC Funded Projects. [online] Disponible en: <https://erc.europa.eu/projects-figures/erc-funded-projects>

Consejo Europeo de Investigación. (2019). ERC Synergy Grants awarded to 37 research groups to take on the biggest challenges. [online] Disponible en: <https://erc.europa.eu/news/erc-2019-synergy-grants-results>

Convención Marco de las Naciones Unidas sobre el Cambio Climático. (2020). CMNUCC. [online]. Disponible en: <https://unfccc.int/es/process-and-meetings/the-convention/que-es-la-convencion-marco-de-las-naciones-unidas-sobre-el-cambio-climatico>

Cordis. (2020). Low Carbon at Work: Modelling agents and organisations to achieve transition to a low carbon Europe. [online] Disponible en: <https://cordis.europa.eu/project/id/265155>

Danilak, R. (2017). Why Energy Is a Big and Rapidly Growing Problem for Data Centers. Forbes. [online] Disponible en: <https://www.forbes.com/sites/forbestechcouncil/2017/12/15/why-energy-is-a-big-and-rapidly-growing-problem-for-data-centers/?sh=7261637a5a30>

DataHub. (2020). About Datahub. [online] Disponible en: <https://datahub.io/docs/about>

Davey, T. (2018). How AI Handles Uncertainty: An Interview With Brian Ziebart. Future of Life Institute. [online] Disponible en: <https://futureoflife.org/2018/03/15/how-ai-handles-uncertainty-brian-ziebart/?cn-reloaded=1>

DEXMA. (2020). DREEM – Better integration of renewable energy. [online] Disponible en: <https://www.dexma.com/research-and-energy-innovation/all-our-projects/dreem/>

Domeisen, D., Garfinkel, C. y Butler, A. (2018). The Teleconnection of El Niño Southern Oscillation to the Stratosphere. Reviews of Geophysics. [online]. Disponible en: <https://agupubs.onlinelibrary.wiley.com/doi/abs/10.1029/2018RG000596>

ELLIS. (s.f.). ELLIS Units. [online] Disponible en: <https://ellis.eu/units>

Enisa. (2020). Preguntas frecuentes. [online] Disponible en: <https://www.enisa.es/es/financia-tu-empresa/faqs>

Euskadi.eus. (2020). El Gobierno Vasco contrasta en la central mundial de Microsoft en Redmond la futura Estrategia de Inteligencia Artificial de Euskadi. [online] Disponible en: <https://www.euskadi.eus/gobierno-vasco/-/noticia/2020/el-gobierno-vasco-contrasta-en-la-central-mundial-de-microsoft-en-redmond-la-futura-estrategia-de-inteligencia-artificial-de-euskadi/>

Falk, J., Gaffney, O., Bhowmik, A. K., Bergmark, P., Galaz, V., Gaskell, N., Henningsson, S., Höjer, M., Jacobson, L., Jónás, K., Kåberger, T., Klingensfeld, D., Lenhart, J., Loken, B., Lundén, D., Malmmodin, J., Malmqvist, T., Olausson, V., Otto, I., Pearce, A., Pihl, E. y Shalit, T. (2019). Exponential Roadmap 1.5. Future Earth. [PDF] Disponible en: https://exponentialroadmap.org/wp-content/uploads/2019/09/ExponentialRoadmap_1.5_20190919_Single-Pages.pdf

Fontenla Romero, O. (2020). Machine Learning on the Edge (MLoE). Fundación BBVA. [online] Disponible en: <https://www.fbbva.es/equipo/mloe-modelos-de-aprendizaje-automatico-mas-sostenibles/>

Foro Económico Mundial. (2020). The Global Risks Report 2020. [PDF] Disponible en: http://www3.weforum.org/docs/WEF_Global_Risk_Report_2020.pdf

Frendo, O., Graf, J., Gaertner, N. y Stuckenschmidt, H. (2020). Data-driven smart charging for heterogeneous electric vehicle fleets. Energy and AI, Volume 1. [online] Disponible en: <https://www.sciencedirect.com/science/article/pii/S2666546820300070>

Fundación BBVA. (s.f.). Investigación. [online] Disponible en: <https://www.fbbva.es/investigacion/>

Fundación Biodiversidad. (s.f.) Página principal. [online] Disponible en: <https://www.fundacion-biodiversidad.es/>

Gartner, Inc. (2017). Leading the IoT: Gartner Insights on How to Lead in a Connected World. [PDF] Disponible en: https://www.gartner.com/imagesrv/books/iot/iotEbook_digital.pdf

Generalitat Valenciana. (2019a). Estrategia en Inteligencia Artificial de la Comunitat Valenciana. [online] Disponible en: <http://presidencia.gva.es/web/campanyes/inteligenciaartificialcv>

Generalitat Valenciana. (2019b). Estrategia en Inteligencia Artificial de la Comunitat Valenciana. [PDF] Disponible en: http://presidencia.gva.es/documents/172345415/172485485/Dossier_en.pdf/5c22824d-859b-4fd1-b8c9-9beb94a71f51

Gilpin, H., Bau, D., Yuan, B. Z., Bajwa, A., Specter, M. y Kagal, L. (2018). Explaining explanations: an overview of interpretability of machine learning. IEEE 5th International Conference on Data Science and Advanced Analytics (DSAA), pp. 80–89.

Gobierno de Cataluña. (2020). Catalonia's Artificial Intelligence Strategy. Catalonia.AI. [PDF] Disponible en: https://politiquesdigitals.gencat.cat/web/.content/Telecomunicacions/catalonia-ai/Estrategia_IA_Catalunya_ENG_VFinal.pdf

Gobierno de España. (2018). Real Decreto 864/2018, de 13 de julio, por el que se desarrolla la estructura orgánica básica del Ministerio para la Transición Ecológica. [online] Disponible en: https://www.boe.es/diario_boe/txt.php?id=BOE-A-2018-9859

Gobierno de España. (2020a). El Gobierno aprueba la Estrategia Española de Ciencia, Tecnología e Innovación para los años 2021 a 2027. [online] Disponible en: <https://www.lamoncloa.gob.es/consejodeministros/resumenes/Paginas/2020/080920-consejo.aspx>

Gobierno de España. (2020b). Estrategia Española de Ciencia, Tecnología e Innovación 2021-2027. [online]. Disponible en: <https://www.lamoncloa.gob.es/consejodeministros/Paginas/enlaces/080920-enlace-estrategia.aspx>

Gobierno de España. (2020c). Pedro Sánchez presenta la Estrategia Nacional de Inteligencia Artificial con una inversión pública de 600 millones en el periodo 2021-2023. [online]. Disponible en: <https://www.lamoncloa.gob.es/presidente/actividades/Paginas/2020/021220-sanchezenia.aspx>

Gobierno de España. (2020d). Plan España Digital 2025. [PDF] Disponible en: https://www.lamoncloa.gob.es/presidente/actividades/Documents/2020/230720-EspañaDigital_2025.PDF

Gobierno de España. (2020e). Real Decreto 2/2020, de 12 de enero, por el que se reestructuran los departamentos ministeriales. [online] Disponible en: https://www.boe.es/diario_boe/txt.php?id=BOE-A-2020-410

Guidotti, R., Monreale, A., Ruggieri, S., Turini, F., Giannotti, F. y Pedreschi, D. (2019). A survey of methods for explaining black box models. ACM computing surveys (CSUR), vol. 51(5), pág. 93.

Harvard Growth Lab. (2017). The Atlas of Economic Complexity. [online] Disponible en: <https://atlas.cid.harvard.edu/explore?country=71&product=undefined&year=2017&productClass=HS&target=Product&partner=undefined&startYear=2017>

Kisser, G. y Mantha, Y. (2019). Global AI Talent Report. [online]. Disponible en: <https://jfgagne.ai/talent-2019/>

IPCC. (2007). Climate Change 2007: Impacts, Adaptation and Vulnerability. [PDF] Disponible en: https://www.ipcc.ch/site/assets/uploads/2018/03/ar4_wg2_full_report.pdf

Low Carbon at Work. (2020). LOCAW - Research Report. [online] Disponible en: <http://www.locaw-fp7.com/index.php?pagina=reports>

MacKay DJ. (2008). Sustainable Energy – Without the Hot Air. [online] Disponible en: <https://www.withouthotair.com/>

Mahtani, N. y Medina, M. (2019). Sánchez: “Solo un puñado de fanáticos niega ya la evidencia del cambio climático”. El País. [online] Disponible en: https://elpais.com/sociedad/2019/12/02/actualidad/1575284241_519772.html

Ministerio de Ciencia e Innovación. (s.f.). Base Legal. [online] Disponible en: <https://www.ciencia.gob.es/portal/site/MICINN/menuitem.8ce192e94ba842bea3bc811001432ea0/?vgnextoid=358a61f6c2d71210VgnVCM1000001a04140aRCRD&vgnextchannel=1de7364d-83431210Vgn-VCM1000001034e20aRCRD>

Ministerio de Ciencia, Innovación y Universidades. (2019). Estrategia Española de I+D+I en Inteligencia Artificial. [PDF] Disponible en: https://www.ciencia.gob.es/stfls/MICINN/Ciencia/Ficheros/Estrategia_Inteligencia_Artificial_IDI.pdf

Ministerio de Industria, Comercio y Turismo. (2020). España cierra 2019 con un nuevo récord de turistas internacionales y un gasto superior a los 92.200 millones de euros. [online] Disponible en: https://www.mincotur.gob.es/es-es/GabinetePrensa/NotasPrensa/2020/Paginas/200203np_frontur-egatur-diciembre.aspx

Ministerio de Política Territorial y Función Pública. (2020). Real Decreto 403/2020, de 25 de febrero, por el que se desarrolla la estructura orgánica básica del Ministerio de Asuntos Económicos y Transformación Digital. [online] Disponible en: <https://www.boe.es/eli/es/rd/2020/02/25/403/con>

Ministerio para la Transición Ecológica y el Reto Demográfico. (2020a). El Gobierno envía a las Cortes el primer proyecto de Ley de Cambio Climático y Transición Energética para alcanzar la neutralidad de emisiones a más tardar en 2050. [online] Disponible en: <https://www.miteco.gob.es/es/prensa/ultimas-noticias/el-gobierno-env%C3%ADa-a-las-cortes-el-primer-proyecto-de-ley-de-cambio-clim%C3%A1tico-y-transici%C3%B3n-energ%C3%A9tica-para-alcanzar-la-neutralidad-de-emisiones-a/tcm:30-509229>

Ministerio para la Transición Ecológica y el Reto Demográfico. (2020b). Funciones y Competencias. [online] Disponible en: <https://energia.gob.es/es-es/SecretariaDeEstado/Paginas/FuncionesCompetencias.aspx>

Moreno, E. (2019). Elena Moreno: “En Euskadi estamos estableciendo el marco normativo para conseguir la neutralidad en carbono como muy tarde en 2050”. [online] Disponible en: <https://www.euskadi.eus/gobierno-vasco/-/noticia/2019/elena-moreno-en-euskadi-estamos-estableciendo-el-marco-normativo-para-conseguir-la-neutralidad-en-carbono-como-muy-tarde-en-2050/>

NHESS. (2016). A spatial Bayesian network model to assess the benefits of early warning for urban flood risk to people. [online]. Disponible en: <https://www.nat-hazards-earth-syst-sci.net/16/1323/2016/>

Programa de las Naciones Unidas para el Medio Ambiente. (2019). Emissions Gap Report 2019. [online] Disponible en: <https://wedocs.unep.org/bitstream/handle/20.500.11822/30798/EGR19ESEN.pdf?sequence=13>

Pruhs, K. (2019). Green Computing Algorithmics. En: Steffen, B., Woeginger, G. (ed.). Computing and Software Science. Lecture Notes in Computer Science, vol. 10000. Springer, Cham. [online] Disponible en: https://doi.org/10.1007/978-3-319-91908-9_10

Pueyo Busquets, J. (2020). La Generalitat destinará 10 millones a impulsar la inteligencia artificial. El País. [online] Disponible en: https://elpais.com/ccaa/2020/02/18/catalunya/1582024374_399939.html

PwC España. (2015). El cambio climático en España, 2033. [online]. Disponible en: <https://www.pwc.es/es/publicaciones/espana-2033/el-cambio-climatico-en-espana-2033.html>

Rolnick, D., Donti, P., Kaack, L., Kochanski, K., Lacoste, A., Sankaran, K., Ross, A., Milojevic-Dupont, N., Jaques, N., Waldman-Brown, A., Luccioni, A., Maharaj, T., Sherwin, E., Mukkavilli, S., Kording, K., Gomes, C., Ng, A., Hassabis, D., Platt, J., Creutzig, F., Chayes, J. y Bengio, Y. (2019). Tackling Climate Change with Machine Learning. [online] Disponible en: <http://arxiv.org/abs/1906.05433>

SCAE. (s.f.). About SEEA. [online]. Disponible en: <https://seea.un.org/es/content/about-seea>

SEDAL. (s.f.). Statistical Learning for Earth Observation Data Analysis. [online] Disponible en: <https://isp.uv.es/sedal.html>

Stewart, M. (2019). Understanding Data-set Shift. [online] Disponible en: <https://towardsdatascience.com/understanding-data-set-shift-f2a5a262a766>

Strickland, J. (s.f.). How CAPTCHA Works. How Stuff Works.com. [online] Disponible en: <https://computer.howstuffworks.com/captcha.htm>

Strubell, E., Ganesh, A. y McCallum, A. (2019). Energy and Policy Considerations for Deep Learning in NLP. Proceedings of the 57th Annual Meeting of the Association for Computational Linguistics, pp. 3645–3650.

TAILOR. (2021). Trustworthy AI – Integrating Learning, Optimisation and Reasoning. Página principal. [online] Disponible en: <https://tailor-network.eu/>

The Spain Journal. (2020). The Government Constitutes the Advisory Council for Artificial Intelligence. [online] Disponible en: <https://thespainjournal.com/the-government-constitutes-the-advisory-council-for-artificial-intelligence/>

Top500.org. (2019). November 2019. [online] Disponible en: <https://www.top500.org/lists/green500/2019/11/>

Torre Juana OST. (2020). Nuria Oliver: la investigación europea en IA y el futuro nodo ELLIS en Alicante. [online] Disponible en: <https://ost.torrejuana.es/nuria-oliver-inteligencia-artificial-ellis-alicante/>

Unión Europea. (2016). Reglamento (UE) 2016/679 del Parlamento Europeo y del Consejo, de 27 de abril de 2016, relativo a la protección de las personas físicas en lo que respecta al tratamiento de datos personales y a la libre circulación de estos datos y por el que se deroga la Directiva 95/46/CE (Reglamento general de protección de datos). [online] Disponible en: <https://eur-lex.europa.eu/eli/reg/2016/679/oj>

Unión Europea. (2020). Horizon Europe. [PDF] Disponible en: <https://op.europa.eu/es/publication-detail/-/publication/eef524e8-509e-11eb-b59f-01aa75ed71a1/>

Agradecimientos

Autor principal

Digital Future Society

Coautor

Jaime Sevilla, investigador visitante del Centro para el Estudio del Riesgo Existencial (CSER)

Colaboradores expertos

El presente informe se basa en los conocimientos y aportaciones de los siguientes expertos:

- **Amelia Ochoa**, responsable de comunicaciones de ARIES
- **Amparo Alonso**, presidenta de la Asociación Española de Inteligencia Artificial
- **Asun Lera St. Clair**, directora del Programa Digital Assurance, DNV GL – Group Technology and Research
- **Bertha Guijarro Berdiñas**, investigadora del CITIC (Centro de Investigación en Tecnologías de la Información y las Comunicaciones), Universidad de La Coruña
- **Carles Morales**, cofundador de Orpheus
- **Carlos Gómez**, investigador asociado del Centro Nacional de Supercomputación
- **Carmen Vázquez**, vicepresidenta de AI Saturdays
- **Charlotte Siegmann**, estudiante de la Universidad de Warwick, Reino Unido
- **Daniel Utges**, director de DEXMA
- **David Rolnick**, becario de investigación posdoctoral de la Universidad de Pensilvania, EE. UU
- **Ferdinando Villa**, investigador principal de ARIES
- **Francisco Fonseca**, director de la Representación de la Comisión Europea en España
- **Gustau Camps-Valls**, investigador principal de AI for Understanding and Modelling the Earth System (USMILE)
- **Haydn Belfield**, responsable académico de proyectos del CSER
- **Jess Whittlestone**, investigadora asociada del CSER
- **José Hernández Orallo**, profesor de la Universidad de Valencia
- **Juan Zaffora**, responsable de Tech4Climate, Ship2B

- **Kris Sankaran**, investigador posdoctoral de Mila, en Montreal, Canadá
- **Laura Martínez**, responsable de I+D de DEXMA
- **Luke Kemp**, investigador asociado del CSER
- **Lynn Kaack**, investigadora sénior de la ETH, en Zúrich, Suiza
- **Mar Coronado**, analista de recursos eólicos e ingeniera de evaluación de emplazamientos para Siemens-Gamesa, ALTEN SPAIN
- **Marieta Caballero**, directora de cine independiente
- **Massimo Angelini**, cofundador de Orpheus
- **Natalie Jones**, investigadora asociada del CSER
- **Nuria Oliver**, asesora científica jefa del Instituto Vodafone
- **Olivia Mendivil**, investigadora posdoctoral del Laboratorio Cold Spring Harbor, en Nueva York, EE. UU.
- **Priya Donti**, doctoranda de la Universidad Carnegie Mellon, en Pittsburgh, EE. UU
- **Richard Benjamins**, jefe de Estrategia de IA y Datos de Telefónica
- **Servando Torres**, científico de datos de productos de Indra
- **Stefano Balbi**, investigador asociado de ARIES

El equipo de Digital Future Society Think Tank

- **Carina Lopes**, directora de Digital Future Society Think Tank
- **Patrick Devaney**, editor de Digital Future Society Think Tank
- **Tanya Álvarez**, investigadora de Digital Future Society Think Tank
- **Olivia Blanchard**, investigadora de Digital Future Society Think Tank

Citas

Este informe se debe citar de la siguiente manera:

- Digital Future Society. (2021). Por qué la inteligencia artificial debería ser prioritaria en la agenda climática de España. Barcelona, España.

Datos de contacto

Si desea ponerse en contacto con el equipo de Digital Future Society Think Tank, envíe un correo electrónico a thinktank@digitalfuturesociety.com

