La Inteligencia Artificial en España

OBSERVATORIO ADEI

Google

Febrero 2020

Índice

Resumen ejecutivo 3

1. Introducción 4

2. La Inteligencia artificial, ¿qué es y para qué sirve? 5

3. Estrategias públicas de promoción de la IA 7

4. Canales de transmisión del impacto de la IA en la economía 10

5. Impacto de la IA en la economía española 14

6. Conclusiones 23

Referencias bibliográficas 24

Resumen ejecutivo

- Las grandes expectativas puestas en el potencial transformador de la inteligencia artificial (IA) han provocado que se la considere ya como una tecnología de interés general, capaz de engendrar innovaciones en una infinidad de campos diferentes. Los ordenadores, internet, la electricidad o la máquina de vapor también constituyen otros ejemplos de importantes tecnologías de interés general a lo largo de la historia. Sin embargo, se trata de un ámbito en el que la UE presenta cierto rezago, a la par que España no ha sido capaz de producir la suficiente innovación en bienes y servicios digitales durante los últimos años.

- Con carácter general, un sistema o solución que goza de cierta autonomía y versatilidad, pudiendo aprender de comportamientos y experiencia pasada, así como solventar problemas complejos en distintos ámbitos de conocimiento, cabría clasificarlo como poseedor de Inteligencia Artificial en alguna medida.

- El punto crítico para la aplicación de soluciones de IA es el desarrollo de tecnología capaz de tratar las grandes cantidades de datos disponibles. En esta tarea juegan un papel fundamental los programadores e ingenieros de datos, que son los encargados de recolectar, limpiar y etiquetar los datos, así como de diseñar y entrenar a los algoritmos.

- Uno de los principales cuellos de botella al que se enfrenta la industria de IA es la falta de profesionales especializados. El rápido aumento de la demanda de trabajadores con este perfil no se ha visto acompañada por un aumento de los graduados en ramas STEM especializadas, lo que ha desembocado en una escasez preocupante de capital humano cualificado.

- La escasez de capital humano especializado en técnicas asociadas a la IA es en parte el resultado de rigideces administrativas en el sistema universitario. Durante los últimos cuatro cursos académicos, la demanda de titulaciones “asociadas a la IA” ha crecido sistemáticamente más rápido que la oferta.

- Respecto al impacto de la IA en la economía, los estudios existentes se han centrado en dos variables: el empleo y la productividad. Con relación al empleo, los economistas se dividen entre aquellos que abogan por una complementariedad entre IA y trabajadores, subrayando el papel imprescindible de los humanos, y aquellos que alertan de una sustitución de las personas por máquinas, especialmente en ocupaciones rutinarias. La cuantificación del impacto de la IA en la productividad está todavía limitada por la cercanía temporal de la irrupción de esta tecnología, así como la dificultad de medición de los bienes y servicios digitales.

- Con el fin de que España no pierda el tren del desarrollo en el campo de la IA, deberían realizarse reformas en el ámbito educativo que fomenten el estudio y la investigación en estas ramas; o bien aumentar el atractivo de nuestro país para especialistas foráneos. Además, las reformas orientadas a regular la protección de datos deben afrontar el reto de combinar el respeto por la privacidad, con la necesidad de promover el uso innovador del dato y el open data, esenciales en el desarrollo de la IA, especialmente entre las pymes.

1. Introducción

Durante los últimos años hemos asistido a un interés creciente por el efecto en la sociedad de la irrupción de las nuevas tecnologías digitales. Dentro de estas tecnologías, destaca la atención que ha suscitado la Inteligencia Artificial (IA), cuyo propio término alude a la capacidad de emular el principal atributo humano, su mente. Tales son las expectativas puestas en la IA, que muchos científicos alertan de la proximidad de la singularidad tecnológica, el momento en el cual la capacidad intelectual de las máquinas supere a la de los humanos. A medida que proliferaba la atención sobre la IA, se ha constatado como aparecían nuevos términos, antes desconocidos, como *Big Data*, *machine learning*, o *cloud computing*, sin que se observe un conocimiento preciso de su significado, lo que limita su penetración en la sociedad.

Se considera a la IA una tecnología de interés general, dado que la propia investigación en IA es capaz de engendrar innovaciones complementarias en una infinidad de campos diferentes. Los ordenadores, la electricidad o la máquina de vapor también constituyen otros ejemplos de importantes tecnologías de interés general. La máquina de vapor no solo sirvió para extraer agua de las minas de carbón, su aplicación inicial más importante, sino que estimuló la invención de otras máquinas industriales más eficaces y nuevas formas de transportes como los barcos de vapor y los trenes, así como otras formas de organización industrial.

El interés que la IA despierta no solo se concentra en su impacto en el día a día de los ciudadanos, sino también en sus repercusiones en la economía en general, y en las empresas, los trabajadores y la productividad, en particular. Si bien, la proximidad temporal del nacimiento de la IA, unido a la tradicional dificultad de medición de los bienes y servicios digitales [1], dificulta notablemente una cuantificación del impacto de la IA en la economía. A pesar de estas limitaciones estadísticas de la contabilidad nacional, diversos estudios [2,3,4] han estimado que de aquí a 2030, la IA provocará que el PIB anual de España crezca un 0,86% más respecto a un escenario sin la existencia de dicha tecnología, lo que equivaldría a 12,8 miles de millones de euros más al año.

Más allá de su impacto futuro en el PIB, lo cierto es que la IA está teniendo ya una repercusión en el desempeño empresarial, especialmente entre las pymes. Así, esta tecnología permite a las empresas realizar predicciones de ventas más precisas, identificar mejor a potenciales consumidores, personalizar las ofertas de productos a los clientes o mejorar la eficiencia del consumo energético. Todos estos elementos tendrán un impacto en el mercado de trabajo, moldeando la demanda de trabajadores hacia ocupaciones más cualificadas, si bien este fenómeno no constituye el objetivo fundamental de este trabajo. Recientes estudios [5] estiman que, entre 2017 y 2030, la economía española podría generar 3,2 millones de puestos de trabajo en ocupaciones avanzadas (ingenieros, matemáticos, especialistas TIC) gracias a la digitalización.

Al igual que lo ocurrido con la mayoría de nuestros socios europeos, lo cierto es que España no ha sido capaz de producir la suficiente innovación en bienes y servicios digitales durante los últimos años. En efecto, la Unión Europea se está quedando atrás, y está viendo cómo EE.UU. y China le adelantan en la carrera por liderar la transformación tecnológica global. Sin embargo, habida cuenta del estadio inicial de desarrollo de la IA a nivel mundial, España debe centrar sus esfuerzos en definir una estrategia de país que permita a nuestra economía aprovechar el potencial de esta tecnología. Para ello, serán necesarias reformas que incentiven la innovación y el emprendimiento en áreas y campos propicios para la IA.

2. La Inteligencia artificial, ¿qué es y para qué sirve?

En febrero de 1996, el superordenador Deep Blue desafió al vigente campeón del mundo de ajedrez, Gari Kasparov, en un duelo que el jugador ruso acabaría ganando. Un año más tarde, en mayo de 1997, ambos contrincantes volverían a enfrentarse. Esta vez resultó vencedor Deep Blue, convirtiéndose así en la primera máquina en derrotar a un campeón del mundo de ajedrez. Al terminar la partida, un programador de IBM afirmó que el superordenador "se ha vuelto muy versátil. Ya no es aquel monstruo del año pasado lleno de fuerza bruta y nada más" [6].

Esta capacidad de mejorar, de aprender con el paso del tiempo, es una de las características principales de la inteligencia artificial, pero no la única. La IA surge de la idea de que "la inteligencia humana puede describirse con tal precisión, que se podría construir una máquina para simularla". Así, el objetivo de la IA es replicar artificialmente las principales habilidades humanas: la percepción, el lenguaje, la motricidad y el aprendizaje. De forma general, *un sistema posee un cierto grado de IA cuando tiene una autonomía y riqueza de comportamiento significativas en dominios dinámicos, es capaz de aprender de su experiencia y/o es competente en la resolución de problemas complejos en áreas especializadas del conocimiento humano*[1].

En sus inicios, las soluciones de IA se basaron en los sistemas basados en conocimiento. Estos tratan de aplicar mecanismos sistemáticos de razonamiento sobre una representación computacional del saber humano, en un ámbito específico y acotado, con objeto de resolver problemas. Se parte de la idea de que existe una gran cantidad de conocimiento humano que es aplicado con éxito por personas expertas en la resolución de problemas complejos. Evidentemente, la adquisición del conocimiento, su representación computacional, así como su mantenimiento y actualización requieren tiempo y esfuerzo. No obstante, el principal problema radica en que el conocimiento que un experto humano aplica para resolver problemas es enorme y abarca no solo un dominio específico del saber, sino también lo que se puede denominar conocimiento de sentido común, y es precisamente esto lo que resulta complicado de tratar en el ámbito computacional.

El aprendizaje automático es el enfoque potencialmente más útil a la hora de superar los límites de los sistemas basados en conocimiento. Gracias al resurgimiento de las redes neuronales artificiales al amparo de nuevos algoritmos, como los basados en el aprendizaje profundo, el aumento constante de la potencia de cálculo y la existencia de inmensos repositorios de datos de los que aprender, este enfoque ha conseguido grandes logros en el campo de la IA en los últimos años.

El aprendizaje automático permite que en lugar de codificar una solución a un problema directamente en software, esta se aprenda. La principal ventaja de este tipo de sistemas es que están diseñados para que mejoren a lo largo del tiempo. Antes se necesitaba un programador para automatizar un proceso, dándole a un ordenador instrucciones definidas con precisión. Ahora, un algoritmo de *machine learning* es capaz de realizar esa tarea de actualización y mejora, siempre y cuando se le hayan dado previamente ejemplos al respecto y tomado las debidas cautelas para evitar la introducción de sesgos.

[1] Definición aportada por Senén Barro, catedrático del área de Ciencia de la Computación e Inteligencia Artificial.

Los métodos básicos de aprendizaje automático son tres, igualmente válidos y que además confluyen en la mayoría de las aplicaciones de la IA:

- Aprendizaje supervisado: a partir de ejemplos previamente etiquetados, esta técnica es capaz de detectar patrones en los datos y establecer predicciones, a medida que aprende de los nuevos datos aportados, mejorando así la eficacia de sus predicciones a lo largo del tiempo.

- Aprendizaje no supervisado: sin necesidad de que los ejemplos de entrenamiento estén etiquetados, esta técnica es capaz de identificar regularidades en los datos. Es a través de este tipo de enfoque que la IA puede obtener resultados más precisos que los humanos al detectar patrones ocultos para las personas.

- Aprendizaje por refuerzo: este método es útil para programar máquinas que realicen una tarea concreta continuamente a lo largo del tiempo. La técnica consiste en realizar una determinada acción bajo el método de recompensa/castigo, y a base de repeticiones, el programa es capaz de optimizar el desempeño de esa tarea.

La utilidad de estos modelos radica en que un solo tipo de algoritmo (redes neuronales profundas) puede servir para una amplia gama de aplicaciones prácticas. Es decir, un algoritmo concreto puede utilizarse para realizar reconocimiento facial en un *Smartphone*, identificar a personas en el control fronterizo de un aeropuerto o detectar posibles enfermedades en la piel. Este amplio registro de aplicaciones potenciales fruto de una sola técnica matemática es la razón por la cual la IA es considerada como una tecnología habilitadora y de interés general.

Tabla 1: Algunos ejemplos de aprendizaje automático

Método	Aplicación
Aprendizaje supervisado	• Plataformas de vídeo o música: motores de recomendación. • Internet: motores de búsqueda de información. • Idiomas: servicios de traducción *online*. • Redes sociales: minería de textos, detección de sentimientos. • Lenguaje natural: *chatbots*, asistentes virtuales. • Movilidad: servicios de mapas y predicción de rutas. • Imágenes: reconocimiento facial.
Aprendizaje no supervisado	• Marketing: identificación de los patrones de consumo. • Informática: compresión de archivos de gran tamaño. • Finanzas: detección de fraude, consejos de inversión. • Correo electrónico: filtros de *spam*, respuestas automáticas. • Infraestructuras: detección de defectos estructurales. • Medicina: detección de casos de cáncer de piel a través de imágenes [7]
Aprendizaje por refuerzo	• Energía: ahorro energético en el transporte o la agricultura. • Automoción: programación de los coches autónomos. • Robótica: guiado de los robots autónomos. • Juegos de estrategia: vencer a los humanos.

Fuente: elaboración propia

3. Estrategias públicas de promoción de la IA

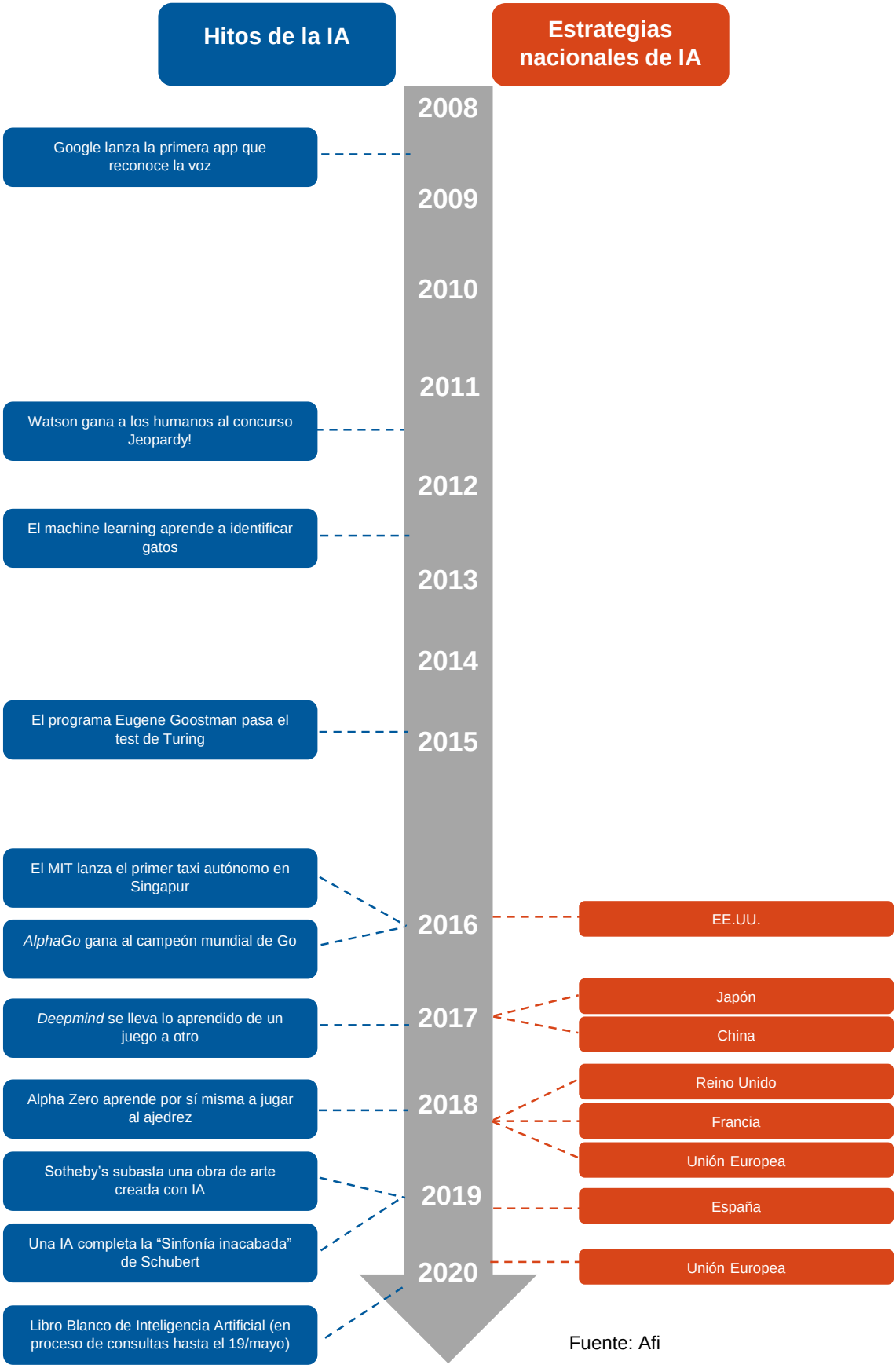
Durante el último lustro se ha producido una aceleración en el desarrollo de soluciones de IA, que ha desembocado en resultados relevantes en el ámbito de la movilidad, los juegos de estrategia, o el reconocimiento de imágenes. A lo largo de 2019, además, se ha demostrado que la IA también tiene recorrido en ámbitos ligados a la creatividad cultural, como la música o la cultura, parcelas tradicionalmente reservadas a los humanos. En paralelo, gobiernos y organizaciones se han apresurado a proponer estrategias con el fin de proporcionar un marco de actuación para el desarrollo de esta tecnología, si bien ninguna de estas iniciativas ha desembocado todavía en medidas legislativas o regulatorias concretas.

Pioneras en este sentido son las actuaciones del gobierno de EE. UU [8], que en octubre de 2016 publicó su plan estratégico nacional para la IA. Dicho plan se articula en torno a siete estrategias, entre las que sobresalen el intercambio de bases de datos públicas, así como ejemplos y entrenamientos de algoritmos; desarrollar la colaboración máquina-humano; comprender las implicaciones éticas de la IA; y garantizar la protección y la seguridad de la IA. Japón presentó su plan estratégico [9] en marzo de 2017, llamando a concentrar los esfuerzos de IA en los sectores de la salud, la movilidad, y la seguridad de la información. China presentó su plan de IA [10] en agosto de 2017, con el principal objetivo de ser el país líder en este ámbito en la década de 2020.

En Europa, la Cámara de los Lores de Reino Unido [11] fue la encargada de perfilar la estrategia británica en cuanto a la IA, en marzo de 2018. El informe destaca la necesidad de mejorar el acceso a los datos para las pequeñas y medianas empresas, vigilar que no se produzcan sesgos en el diseño de las soluciones de IA, estrechar la relación entre las empresas y el mundo de la investigación académica, aumentar el número de visados para especialistas extranjeros en IA o incluir asignaturas relacionadas con IA en el currículo escolar. La estrategia de Francia [12], conocida como el informe Villani, se presentó también en marzo de 2018, donde se pone de manifiesto la necesidad de un intercambio de datos entre las empresas, la creación de un banco de datos de interés general, y la atracción de estudiantes a sectores digitales y científicos.

Por su parte, en abril de 2018, la Comisión Europea [13] emitió un comunicado en el que instaba a alentar la implantación de la IA en empresas y organismos públicos. Respecto al uso de datos, el Mercado Único Digital garantiza un nivel de protección homogéneo, así como la libre circulación de datos dentro de la UE. Además, en junio de 2018, la Comisión Europea propició la creación de un Grupo de Expertos de Alto Nivel sobre IA, con el fin de que emitieran recomendaciones acerca del desarrollo de futuras regulaciones sobre elementos clave relacionados con esta nueva tecnología. En línea con las sugerencias de dicho grupo, la nueva Comisión Europea, liderada por Ursula von der Leyen, incluye en su programa destinar mayores recursos a la IA. Así, la UE reconoce la necesidad de aumentar de forma significativa la inversión en investigación en IA. En el marco de la nueva Estrategia Europea para los Datos, la Comisión Europea invertirá en los ecosistemas de IA (en “proyectos de alto impacto”), pretendiendo movilizar en torno a 4 – 6 mil millones de euros en el periodo 2021 – 2027, a través de la co-inversión con los Estados Miembros y con la industria. Asimismo, el pasado 19 de febrero de 2020, la CE publicó un Libro Blanco de Inteligencia Artificial (sometido a consultas hasta el 19 de mayo), con el propósito de, bajo el modelo de mercado único, impulsar la adopción de la IA (a través de inversiones, creación de centros de excelencia y de pruebas, capacitación y atracción de talento específicos, etc.), sin descuidar la gestión de los riesgos que pudiesen derivarse de determinados usos de la misma.

Figura 2: Evolución de las estrategias públicas de promoción de la IA



Fuente: Afi

En el caso de España, el Ministerio de Ciencia, Innovación y Universidades publicó en febrero de 2019 la “Estrategia Española de I+D+I en Inteligencia Artificial” [14], si bien dicha iniciativa todavía no está aprobada, aunque ha sido creado un Grupo de Trabajo Interministerial para su desarrollo. Esta estrategia plantea las siguientes recomendaciones: desarrollar la IA en sectores estratégicos nacionales; aprovechar la IA para cumplir los objetivos de la Agenda 2030; transferir conocimientos de IA al conjunto de la sociedad; atraer, retener y recuperar talento de IA; regular y gestionar el uso de datos abiertos a través de la creación de un Instituto Nacional de Datos; adaptar y mejorar competencias en el sistema educativo; y velar por que la IA cumpla con los compromisos éticos y legales de nuestro país. Asimismo, el primer informe de seguimiento de la “Agenda del Cambio: hacia una economía sostenible e inclusiva” publicado por el Ministerio de Economía y Empresa, contempla la incorporación de la IA en nuevos cursos de formación especializada para titulados de formación profesional, así como también se incluye como tecnología habilitadora clave que ha de ser objeto de apoyo (inversión), para el avance científico y tecnológico.

Dentro de España, Cataluña y la Comunidad Valenciana [15] han sido pioneras en lanzar sus propias estrategias de IA. Las principales líneas de esta última están orientadas a que dicha tecnología sea respetuosa con el medio ambiente y ayude a suministrar mejores servicios públicos. Además, remarca la necesidad de que la IA sea inclusiva, y no perjudique a determinados colectivos de trabajadores. Finalmente, resalta la necesidad de promover el uso de soluciones de IA dentro de la Administración Pública autonómica.

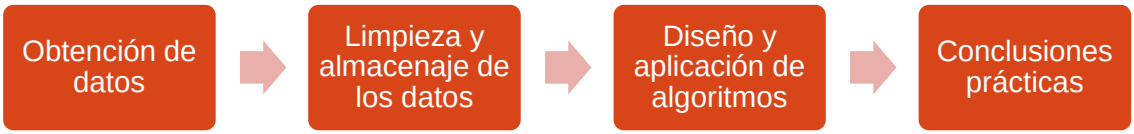
4. Canales de transmisión del impacto de la IA en la economía

a) A escala microeconómica

Hoy en día, las empresas son los actores principales en el proceso de penetración de la inteligencia artificial en la economía. Por un lado, son ellas las encargadas de detectar las posibles aplicaciones comerciales de una determinada tecnología de IA o de identificar el impacto potencial de una herramienta de IA en la eficiencia empresarial o la optimización de costes. Por otro, son las propias empresas las que deben diseñar e implementar todo el proceso de innovación aplicada hasta obtener el resultado definitivo. Por tanto, la forma en la que las empresas interioricen la inteligencia artificial resulta de crucial importancia a la hora de determinar el impacto de dicha tecnología en el conjunto de la economía.

En primer lugar, para poder desarrollar una herramienta de inteligencia artificial, las empresas necesitan datos [16]. No es casualidad el hecho de que la IA se haya desarrollado más rápido en aquellos ámbitos donde existen grandes bases de datos para entrenar a los algoritmos (reconocimiento facial, traductores, buscadores de información). Aquí desempeñan un papel clave las nuevas tecnologías como el Internet de las cosas o los sistemas M2M (machine to machine), dado que suponen un gran avance en la captura de datos [17].

Gráfico 2: Proceso de implementación de la IA en la empresa



Fuente: Afi

En ocasiones suele hacerse la analogía de que los datos son “el nuevo petróleo”, y ambos tienen que ser refinados para resultar útiles. Los datos deben tratarse para convertirse en información y ésta en conocimiento. Se precisa de un canal de datos para recolectar, organizar y etiquetar la información, y un almacén de datos para guardarla. Para poder desarrollar esas tareas, las empresas necesitan una gran capacidad de procesamiento de datos en un corto periodo de tiempo.

Hace una década, las empresas debían realizar grandes inversiones en capital físico (ordenadores), *software* y tiempo para poder llevar a cabo esas labores de computación y tratamiento de datos. Por tanto, esos importantes costes fijos actuaban como barrera de entrada en el sector de la IA, al cual solo las empresas más grandes tenían acceso.

En los últimos años, por el contrario, han aparecido alternativas de *cloud computing* (Amazon Web Services, Google Cloud Platform, Microsoft Azure Cloud, entre otras) y paquetes de programación (R, Python, TensorFlow) asequibles para la práctica totalidad del tejido empresarial, lo que ha permitido que empresas pequeñas puedan desarrollar herramientas de IA. Esta democratización en el acceso a la tecnología ha sido posible gracias a que lo que era antes un coste fijo que las empresas debían internalizar

(comprar e instalar físicamente el centro de datos) ahora se ha transformado en un coste variable que las empresas pueden subcontratar, recurriendo a servicios de *cloud computing*. Además, la contratación de capacidad de computación en la nube puede hacerse de forma variable, para ajustarse a las necesidades puntuales del cliente en cada momento.

Además, existen numerosas tecnologías de código abierto que permiten acceder a sofisticados modelos y algoritmos sin necesidad de invertir tiempo en el diseño de los mismos. Tecnologías como los contenedores se han desarrollado para facilitar el tránsito de un proveedor de *cloud computing* a otro, mientras que existen lenguajes comunes para que los *softwares* se puedan comunicar entre sí, lo que permite combinar algoritmos de diferentes orígenes sin costes de integración o de adquisición.

El desarrollo de *software* abierto para su aplicación en IA tiene un efecto importante en términos de economías de escala. En efecto, del lado de la oferta de IA, existe un coste importante en el diseño de los algoritmos, mientras que la distribución de dichos algoritmos puede hacerse a un coste relativamente bajo. La no rivalidad de este tipo de tecnología permite una velocidad de transmisión de conocimiento nunca antes vista, dado que un solo algoritmo puede utilizarse en cualquier parte del mundo y de manera inmediata.

Por el lado de la demanda, se producen economías de escala ligadas a los efectos de red. La valoración de un servicio está positivamente correlacionada con el número de usuarios de ese servicio (P. ej. redes sociales). Además, los usuarios prefieren sistemas operativos que tengan muchas aplicaciones mientras que los desarrolladores de aplicaciones quieren sistemas operativos con muchos usuarios [16].

El progresivo desarrollo de las técnicas de IA no solo ha tenido impactos en las empresas que diseñan dicha tecnología, sino que ha repercutido positivamente en cualquier organización que mejore algún servicio o proceso a través de estos métodos. Las técnicas de IA puede considerarse como máquinas de predecir y prescribir, capaces de realizar un mayor número de predicciones y más baratas, lo que permite a las empresas que implanten esta tecnología tomar mejores decisiones, y realizar mejores recomendaciones de actuación.

Desde el punto de vista comercial, la IA permite a las empresas realizar predicciones de ventas más precisas, incorporando un mayor número de variables y datos en los modelos predictivos. Modelos que se actualizan automáticamente con nuevos datos, mejorando en última instancia la calidad y la precisión de las estimaciones de ventas. Por otro lado, la IA aplicada al “geomarketing” permite localizar las mejores áreas donde ubicar un negocio o identificar mejor a potenciales consumidores. Durante los últimos años la IA también ha facilitado una personalización de las ofertas de productos a los clientes, mejorando la eficacia de la inversión en publicidad y marketing.

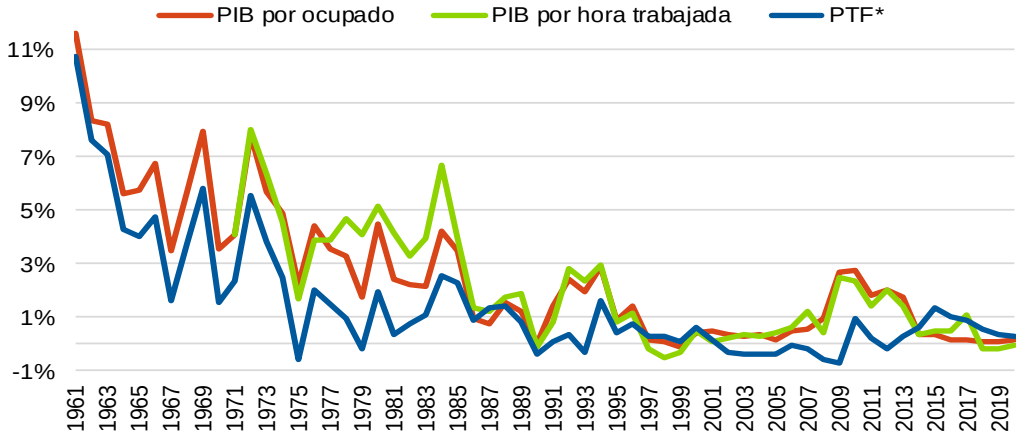
La recolección de grandes cantidades de datos a través del uso de sensores permite la monitorización de tendencias, como por ejemplo el consumo energético dentro de una empresa o una fábrica, lo que ayuda a predecir los picos de gasto energético y mejorar la eficiencia de las instalaciones con el fin de reducir la huella medioambiental de las empresas. La distribución comercial y la logística también son áreas en donde la IA tiene un ámbito de actuación relevante, dado que permite predecir el estado del tráfico y de las condiciones de circulación para diseñar rutas de distribución más rápidas y eficientes.

a) A nivel macroeconómico

El impacto de la IA a nivel macroeconómico no es más que la agregación de los impactos a nivel de la empresa, unido a las externalidades derivadas del comportamiento de todos los actores implicados. La literatura más reciente orientada a identificar el efecto de las tecnologías de IA en la economía en su conjunto se ha enfocado en dos elementos de manera principal: el empleo y la productividad [18,19,20].

Respecto al empleo, en el apartado previo se ha comentado que durante los últimos años hemos asistido a un aumento de la demanda de puestos de trabajo relacionados con tecnologías de IA, demanda que por el momento excede a la oferta de dichos especialistas. Este es el argumento al que suelen hacer referencia ciertos economistas [21], que abogan por un escenario de complementariedad entre tecnología y puestos de trabajo. Su tesis radica en que la progresiva penetración de las tecnologías de IA requiere de una demanda creciente de puestos cualificados intensivos en I+D, ligados al diseño, gestión y mantenimiento de dicha tecnología. Además, las recientes innovaciones en el campo de la IA tienen potencial para mejorar el proceso de búsqueda y emparejamiento entre vacantes y desempleados a través del uso de datos de empresas y trabajadores.

Gráfico 5: Evolución de la productividad en España (tasa de crecimiento anual)



Fuente: Afi, Comisión Europea

*PTF = Productividad Total de los Factores = residuo de la función de producción

En cambio, otros economistas afirman que, si bien la IA puede aumentar la demanda de puestos de trabajo y la creación de nuevas ocupaciones, este proceso se produce únicamente en aquellas tareas que solo los humanos pueden realizar. En otras palabras, la IA puede hacer que el empleo aumente en puestos cualificados tecnológicamente, que complementan a la tecnología; y en puestos no cualificados de servicios personales, difícilmente reemplazables por la IA. Sin embargo, la IA puede sustituir a las personas en ciertas ocupaciones rutinarias y repetitivas, lo que favorecería un escenario de polarización en el mercado de trabajo en el que los empleos intermedios tenderían a desaparecer [20,21].

Respecto a la productividad, lo cierto es que la paradoja de Solow (1987) puede aplicarse de nuevo al caso de la IA hoy en día: “las nuevas tecnologías se pueden ver

en todas partes salvo en las estadísticas de productividad". El gráfico 5 presenta la tasa de crecimiento de la productividad en España durante el último medio siglo, y la tendencia decreciente es indiscutible. El PIB por ocupado creció a una tasa media anual del 6,7% durante los años 60 y desde entonces se ha reducido al 4,2% en los 1970; al 1,9% en los 1980; al 1,1% en los 1990; al 0,9% en los 2000; y al 0,7% en los 2010. El proceso de ralentización es tan marcado que resultaría arriesgado aventurar un cambio de tendencia a corto plazo ligado a la IA.

Esta disminución en el ritmo de crecimiento de la productividad puede deberse, en parte, a un efecto mixto entre ocupaciones y sectores. Así, por un lado, podemos encontrar sectores que incorporan tecnologías de IA, que incorporan capital humano cualificado y que reemplazan ciertas ocupaciones rutinarias, mejorando en última instancia su productividad del trabajo. Sin embargo, si esos trabajadores desplazados encuentran un empleo en sectores poco productivos, el impacto neto sobre el nivel de productividad es ambiguo. Además, se da la situación que, en España, los sectores de alta productividad (Industria) están perdiendo peso en la economía en favor de sectores menos productivos (Comercio y Hostelería), lo que limita el crecimiento de la productividad agregada.

Por otra parte, resulta crucial destacar los problemas de medición de la IA en las estadísticas. En efecto, la IA puede considerarse un capital intangible, formado por datos, información, sistemas y conocimiento, elementos todos ellos de difícil valoración económica. Además, muchas de las principales aplicaciones de la IA suelen utilizarse como inputs intermedios para mejorar productos o servicios, en vez de para bienes finales. Estas limitaciones deberían por tanto tenerse en cuenta a la hora de valorar el efecto de la IA en las estadísticas.

Más recientemente, algunos académicos [24] han ofrecido una explicación alternativa a la tesis tradicional de los problemas de medición. Partiendo de la misma premisa de que la IA constituye un capital intangible, se afirma que, para aumentar la productividad observada, las inversiones ligadas a la IA deben acompañarse de un desarrollo en las bases de datos, de cambios complementarios en las prácticas de gestión empresarial, los procesos de negocio, y las habilidades de los empleados específicas a la empresa. Estos elementos, difíciles de medir y de lenta implementación, contribuyen a limitar la observación de un impacto de la IA en la productividad.

La magnitud de estas transformaciones a nivel de la empresa provoca que la economía tarde un tiempo considerable en aprovechar completamente las nuevas tecnologías. Es más, cuanto más profundo sea el potencial transformador de una tecnología, como en el caso de la IA, mayor será el lapso temporal entre la invención inicial de la tecnología y su impacto completo en la economía y la sociedad. Solo cuando se haya creado un stock suficiente de IA y se hayan desarrollado procesos y activos complementarios, se apreciará el impacto de esa tecnología en las estadísticas, teniendo en cuenta las limitaciones en su medición. No obstante, algunas estimaciones apuntan a que el impacto de la IA en España podría traducirse en 23 mil millones de dólares en términos de productividad total de los factores (PTF) en 2035 [2].

La historia ofrece ejemplos ilustrativos de este fenómeno, en los que los efectos de tecnologías de interés general tardaron tiempo en evidenciarse en las estadísticas. La lámpara incandescente se inventó en 1879, pero cuarenta años más tarde todavía la mitad de las fábricas de EE.UU. estaban sin electrificar. El circuito integrado se inventó en 1958, pero no fue hasta finales de la década de 1980 que la penetración de los

ordenadores comenzó a hacerse patente. Windows creó Internet Explorer en 1995, pero no fue hasta 2019 que el comercio electrónico alcanzó un 10% de las ventas en EE.UU.

En línea con lo anterior, sería deseable que los poderes públicos animen a las empresas y otorguen la seguridad jurídica necesaria para la movilización de capital y mayores esfuerzos inversores hacia proyectos de IA.

5. Impacto de la IA en la economía española

a) Reflejo de la IA en las estadísticas recientes

La proximidad temporal de la irrupción de las tecnologías de IA, unido a los tradicionales problemas de medición de las transformaciones digitales en la economía, dificulta notablemente el reflejo de la IA en las estadísticas públicas. A pesar de estas limitaciones estadísticas, diversos estudios [1,2,3] han estimado que de aquí a 2030, la IA provocará que el PIB anual de España crezca un 0,86% más respecto a un escenario sin la existencia de dicha tecnología. En este apartado se trata de superar las limitaciones de medición recurriendo a una variable tradicionalmente empleada para reflejar las posibilidades de crecimiento económico de un país: el stock de capital.

La Tabla 2 muestra la tasa de crecimiento medio anual del stock de capital en España durante el periodo 2010-2015. Junto con el stock de capital total, se presentan los stocks en *software* y bases de datos, I+D y el *hardware* tecnológico. Así, con esas variables se trata de aproximar tanto el capital intangible clave para el desarrollo de la IA (I+D, *software* y bases de datos) como el capital tangible clásico para poder aplicar dicha tecnología (*hardware* tecnológico). Si bien el marco temporal analizado (2010-2015) corresponde a un periodo incipiente en el nivel de penetración de la IA en la economía, esta estadística puede ayudar a entender la manera en la que los distintos sectores se han ido preparando para incorporar la IA en sus procesos.

Tabla 2: Stock de capital, tasa de crecimiento medio anual, 2010-2015

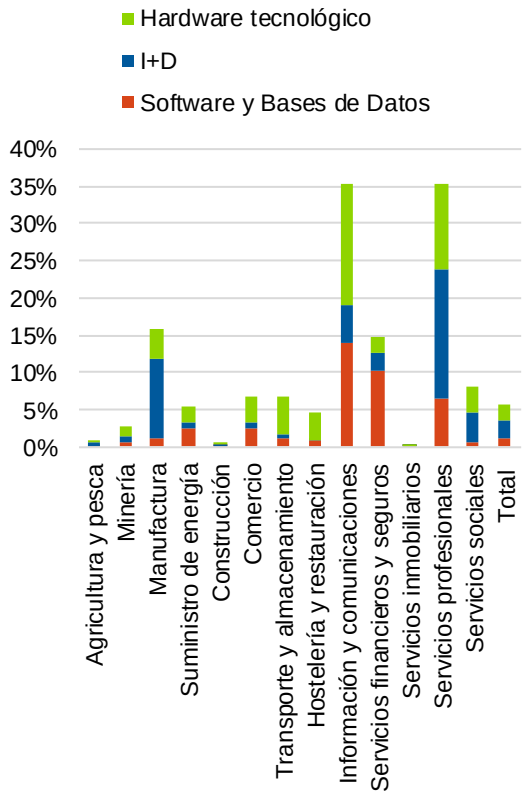
Sector de Actividad	Total	*Software* y Bases de Datos	I+D	*Hardware* tecnológico
Agricultura y pesca	-0,4%	-1,5%	2,4%	5,4%
Minería	1,7%	15,9%	-8,9%	-2,0%
Manufactura	-1,1%	-1,5%	2,9%	0,3%
Suministro de energía	5,6%	1,9%	7,6%	7,3%
Construcción	-1,4%	-7,4%	-3,2%	-14,8%
Comercio	2,6%	1,3%	-0,4%	6,6%
Transporte y almacenamiento	0,7%	3,6%	12,7%	3,7%
Hostelería y restauración	-0,7%	0,4%	2,9%	2,8%
Información y comunicaciones	1,0%	4,7%	-2,3%	5,8%
Servicios financieros y seguros	1,2%	0,2%	-0,4%	-10,4%
Servicios inmobiliarios	0,0%	60,7%	2,9%	20,5%
Servicios profesionales	3,6%	13,4%	5,3%	9,8%
Servicios sociales	0,2%	-5,7%	2,3%	3,6%
Total	0,1%	3,7%	2,8%	4,4%

Fuente: Afi, EU KLEMS

Se aprecia que el sector de servicios inmobiliarios es el que más ha invertido en *software* y bases de datos durante el periodo analizado, de media un 60,7% al año. Este rápido crecimiento se debe en parte a un efecto base ligado al bajo nivel que este tipo de activos representa sobre el total del capital (Gráfico 6). El sector de servicios inmobiliarios representa a día de hoy en España el 11,6% del PIB, prácticamente lo mismo que las manufacturas (12,4%). Además, es de largo, el sector más productivo de nuestro país medido en términos de VAB por hora trabajada (junto con el de suministro de energía). Es también el sector que más ha invertido en *hardware* tecnológico, un 20,5% anual de media, lo que vendría a corroborar la hipótesis de que, para el desarrollo de la IA es necesario combinar capital tangible con intangible.

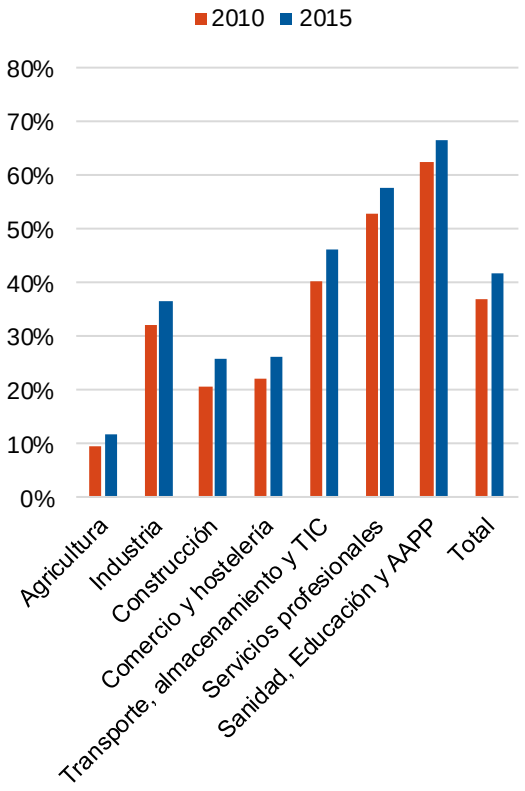
La capacidad de predecir el comportamiento de la demanda y los precios de los activos residenciales resulta crucial a la hora de posicionarse en el mercado, maximizar la rentabilidad, y en general tomar mejores decisiones. Las herramientas de IA pueden resultar de gran ayuda a la hora de conseguir estos objetivos, dado que ciertos algoritmos, entrenados con datos pasados sobre el comportamiento del mercado, están preparados para arrojar predicciones de este tipo. Para ello es necesario disponer de bases de datos acerca de las características de las viviendas, locales comerciales u oficinas, así como de los perfiles sociodemográficos de los potenciales clientes. En este sentido, todo parece indicar que las empresas del sector inmobiliario se han lanzado a invertir en esta clase de activos intangibles con el fin de poner en marcha las herramientas de IA.

Gráfico 6: Stock de capital en 2015, porcentaje sobre el total



Fuente: Afi, EU KLEMS

Gráfico 7: Ocupados con estudios superiores, porcentaje sobre el total



Fuente: Afi, INE

Por su parte, la industria minera ha aumentado su stock de capital de *software* y bases de datos al 15,9% de media anual. Dicho sector se encuentra en un profundo proceso de reconversión en nuestro país, con graves carencias competitivas, y con una fuerza de trabajo muy especializada de difícil encaje en otras actividades productivas. Este hecho, unido a la creciente concienciación medioambiental, ofrecen numerosas posibilidades para el desarrollo de la IA. A modo de ejemplo, los sensores integrados son capaces de ofrecer información en tiempo real acerca del terreno y los depósitos minerales lo que se traduce en un menor dragado y en una extracción más eficiente de la materia.

Los sectores de Actividades Profesionales e Información y Comunicaciones también han invertido grandes montantes de capital en software, bases de datos y hardware tecnológico en los últimos años. Además, como se aprecia en el Gráfico 6, son los sectores con un mayor peso de este tipo de activos tangibles e intangibles: uno de cada tres euros de su stock de capital corresponde a activos tecnológicos. El gráfico 7 muestra que, junto con la Sanidad, Educación y AAPP, son los sectores que utilizan una mayor proporción de trabajadores cualificados. Estos datos subrayan el papel clave que ingenierías, consultoras y centros de investigación desempeñan en el desarrollo y la implementación de la IA en España.

b) Ejemplos de proyectos de IA en España

En esta sección se presentan diversas experiencias que ilustran la implantación de herramientas de IA en España. Los ámbitos de actuación seleccionados han sido elegidos o bien porque corresponden a sectores clave en la economía española, como en el caso del turismo o de la agricultura, o bien porque responden a retos globales, como el caso de la energía o el transporte.

I. Turismo

Lugar: Ayuntamiento de Málaga.
Objetivo: Ofrecer a turistas y ciudadanos información acerca de las actividades disponibles en la ciudad, información en tiempo real de autobuses, aparcamientos y estado de playas.
Método: *Chatbot* entrenado con más de 130 intenciones que responde en formato dialogo, capaz de interactuar mediante voz o texto.

Lugar: Provincia de Guipúzcoa.
Objetivo: Realizar predicciones sobre ocupación hotelera, nacionalidad, gasto y rutas de los turistas.
Método: Herramienta de recolección de datos. Para el gasto, implantación de un sistema de monitorización del gasto en establecimientos comerciales con TPV. Para las rutas, seguimiento de los movimientos de los visitantes a través de operadores de telefonía móvil. Para el conteo de turistas, instalación de sensores en la oficina de turismo de San Sebastián.

II. Agricultura

Lugar: Provincia de Sevilla.
Objetivo: Predecir la producción de aceite, establecer un control de plagas y optimizar la fertirrigación.
Método: Herramienta digital de recopilación de datos y un modelo predictivo basado en redes neuronales capaz de reflejar la realidad de un sistema bilógico complejo y capaz de predecir esa realidad con datos históricos monitorizados.

Lugar: Comunidad Autónoma de Aragón.
Objetivo: Optimizar el proceso de siembra, cosecha y hacer un consumo más eficiente del agua en los viñedos.
Método: Instalación de sensores inteligentes en el terreno, permitiendo la obtención en tiempo real de información monitorizada acerca de la temperatura, la humedad la radiación solar. Posteriormente, se analizan los datos en la nube en tiempo real, lo que facilita la toma de decisiones.

III. Energía

Lugar: Metro de Madrid.
Objetivo: Asegurar la calidad del aire, del sistema de ventilación y minimizar el coste energético y la huella de carbono.
Método: Algoritmo que combina información acerca de la temperatura, la arquitectura de la estación, la frecuencia del tren, la carga de pasajeros y el precio de la electricidad, con el fin de obtener un equilibrio óptimo en cada una de las estaciones de la red.

Lugar: Provincia de Málaga.
Objetivo: Predecir el comportamiento de la red eléctrica con el fin de mejorar el mantenimiento preventivo de las líneas de media y baja tensión.
Método: Incorporación de transformadores inteligentes con sensores integrados, capaces de enviar datos en tiempo real. Con esa información, se estiman modelos predictivos de *machine learning* con el fin de anticipar dónde se producen las incidencias para concentrar las inversiones en esos puntos.

IV. Transporte

Lugar: Todo el país.
Objetivo: Optimizar el sistema de *pricing* de los servicios de movilidad de una empresa.
Método: Utilización de algoritmos que combinan información en tiempo real acerca del estado del tráfico, las condiciones climáticas y la demanda de servicios de movilidad, con el fin de optimizar el precio por minuto del servicio y la ruta más rápida.

Lugar: Todo el país.

Objetivo: Minimizar los kilómetros en vacío que realiza la flota de camiones de una empresa de transporte de mercancías.

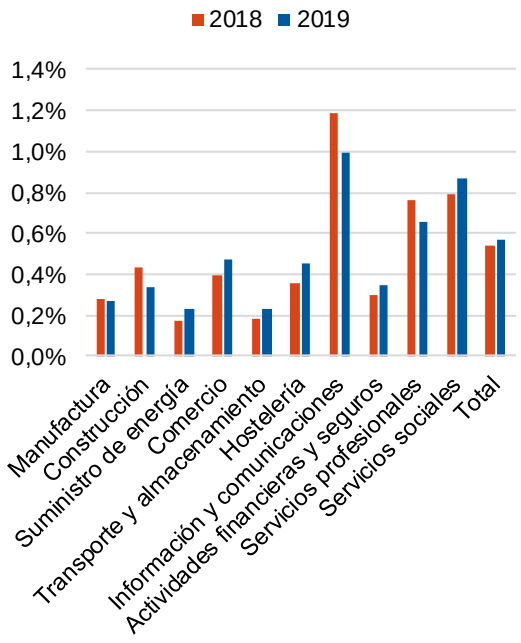
Método: Desarrollo de algoritmos para el diseño de rutas optimizadas, teniendo en cuenta el tipo de carga, el perfil de los transportistas y el estado de las carreteras. A través de estas técnicas, se consigue reducir el impacto ambiental de la actividad.

c) Limitaciones al desarrollo de la IA en España

A pesar de estos avances en el acceso a las tecnologías, todavía existen barreras para el aprovechamiento de las oportunidades que brinda la IA, en concreto relacionadas con la disponibilidad de capital humano cualificado. Los programadores e ingenieros de datos son los encargados de recolectar, limpiar y etiquetar los datos, así como de diseñar y entrenar a los algoritmos. Este proceso es difícilmente automatizable y el auge de este tipo de innovaciones ha provocado un aumento de la demanda de profesionales con estos perfiles, así como de matemáticos o físicos.

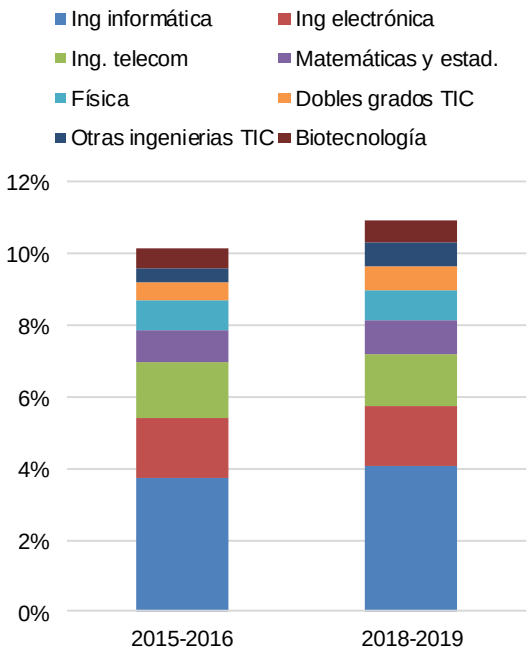
Como se observa en el gráfico 3, el sector de Información y comunicaciones ha sido durante los dos últimos años el sector con una mayor proporción de puestos de trabajo vacantes, alrededor del 1% del total de ocupados, equivalente a 6.000 puestos. Puede parecer una cifra pequeña, pero lo cierto es que es uno de los principales cuellos de botella al que se enfrenta la IA hoy en día. Prueba de ello es que el 28% de las empresas del sector de Información y Comunicaciones tuvieron dificultad para cubrir alguna vacante de especialista TIC el año pasado (Encuesta de uso de TIC y Comercio Electrónico, INE).

Gráfico 3: Vacantes, porcentaje sobre el total de ocupados



Fuente: Afi, INE

Gráfico 4: Matriculados en carreras vinculadas con la IA, en porcentaje



Fuente: Afi, Ministerio de Educación

Este es el resultado de un desequilibrio entre la oferta y la demanda de determinados perfiles profesionales. Mientras que la demanda de especialistas con este tipo de competencias no ha dejado de aumentar en los últimos años, la oferta de trabajadores con esos atributos no ha acompañado a dicha demanda, especialmente entre el género femenino. El mercado español, por tanto, no está siendo capaz de poner a disposición de las empresas el capital humano necesario para desarrollar las soluciones de IA que necesitan.

La generación de un mayor flujo de graduados universitarios en campos afines a la IA no se está realizando con la agilidad que sería deseable: actualmente apenas el 11% del total de matriculados en universidades y centros públicos estudian una titulación "asociada" a la IA[2] (Gráfico 4).

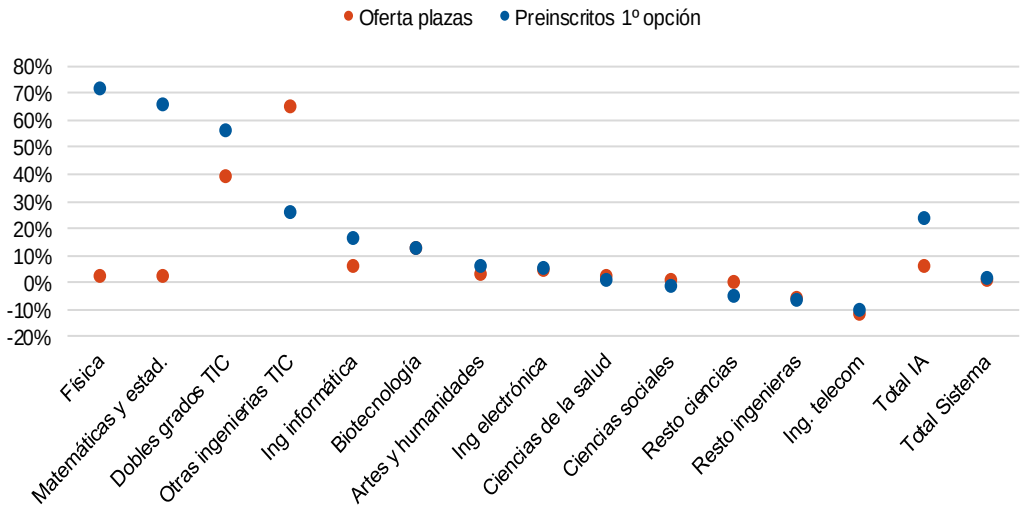
A menudo, se atribuye la escasez de alumnos en esas ramas a una falta de motivación o demanda por parte del propio alumnado. Así se recoge en el último informe realizado por el Ivie y titulado "La contribución socioeconómica del sistema universitario español", donde se argumenta que el considerable esfuerzo que requieren los contenidos impartidos, unido a la limitada retribución de esas competencias en el mercado, desincentivan la elección de estas carreras por parte de los alumnos. Este hecho, junto con la aparente falta de interés de las mujeres por estas ramas de formación, explicaría el escaso número de matriculados en los campos vinculados con la IA.

No obstante, la hipótesis de ausencia de interés y motivación puede que no explique el problema en su conjunto. Así, es posible que la falta de alumnado se deba, en parte, a las rigideces del sistema educativo en general, y de los planes de estudio universitarios en particular, que se establecen con años de antelación y cuya reforma está sujeta a multitud de criterios y necesidades de la comunidad académica.

El Gráfico 7 presenta la evolución de la oferta y la demanda de plazas universitarias entre los cursos 2015-2016 y 2018-2019.

[2] Para el análisis, se han considerado los grados en ingeniería informática, electrónica y telecomunicaciones; matemáticas, estadística, física y biotecnología; así como los dobles grados TIC, que incluyen toda doble titulación que contenga uno de los grados anteriores; y las otras ingenierías TIC, que recogen las nuevas carreras surgidas al calor de la última revolución digital, tales como los grados en ciencia de datos, desarrollo de videojuegos, ingeniería mecatrónica, multimedia, robótica o nanotecnología.

Gráfico 7: Evolución de la oferta y demanda de plazas universitarias entre 2015 y 2019



Nota: consideración de universidades públicas.

Fuente: Afi, Ministerio de Educación

La oferta está medida como el número de plazas disponibles en el sistema universitario público, mientras que la demanda viene recogida por el número de estudiantes que, en la primera opción del proceso de preinscripción, optaron por dicha titulación (preinscritos 1ª opción). Esta variable resulta un buen indicador de la demanda dado que, en ausencia de limitaciones en la oferta de plazas, todo alumno estudiaría la carrera que eligió como primera opción de su preinscripción[3].

En aquellas titulaciones vinculadas con la IA, el número de preinscritos en primera opción ha crecido más rápido que la oferta de plazas a lo largo de los últimos cuatro cursos académicos. De media, los preinscritos en estas carreras han crecido un 23,8% desde 2015, mientras que la oferta de plazas asociadas apenas lo ha hecho un 6,3%. Este desequilibrio es mucho más pronunciado que el del sistema universitario en su conjunto, donde los preinscritos han crecido un 1,3% y la oferta de plazas un 0,8% durante este mismo periodo.

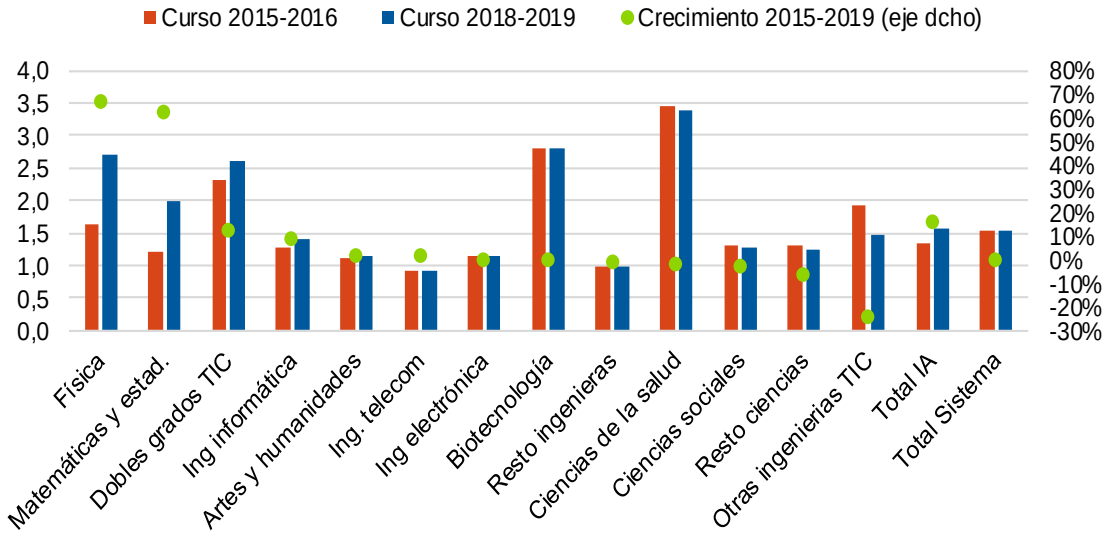
El desajuste es todavía mayor en ciertas titulaciones, como las de Matemáticas y Estadística o Física, donde los preinscritos en primera opción han crecido un 66% y un 71%, respectivamente, desde 2015, mientras que la oferta de plazas se ha mantenido más estable, y apenas ha crecido un 2% durante este tiempo. Donde más ha crecido la oferta de plazas ligadas a la IA es en los dobles grados y en las nuevas ingenierías TIC, que en muchos casos han surgido para recoger las nuevas demandas del mercado.

Este prolongado desequilibrio entre oferta de plazas y demanda de titulaciones se ha traducido en un incremento del número de preinscritos por plaza ofertada (Gráfico 8). En el conjunto de titulaciones vinculadas con la IA, esta ratio ha aumentado un 16,5% desde el curso 2015-2016, pasando de 1,36 a 1,58, mientras que en el conjunto del

[3] Nótese que se ha evitado utilizar el número de matriculados como *proxy* de la demanda, dado que este dato se encuentra de por sí constreñido por la oferta de plazas en cada titulación y no permite identificar por tanto los verdaderos deseos de los estudiantes.

sistema universitario español ha permanecido estable en torno a 1,54. De nuevo, la titulación de Física arroja el mayor incremento, pasando de 1,6 a 2,7 preinscritos por plaza oferta (+67%), seguido de los grados de Matemáticas y Estadística (de 1,2 a 2).

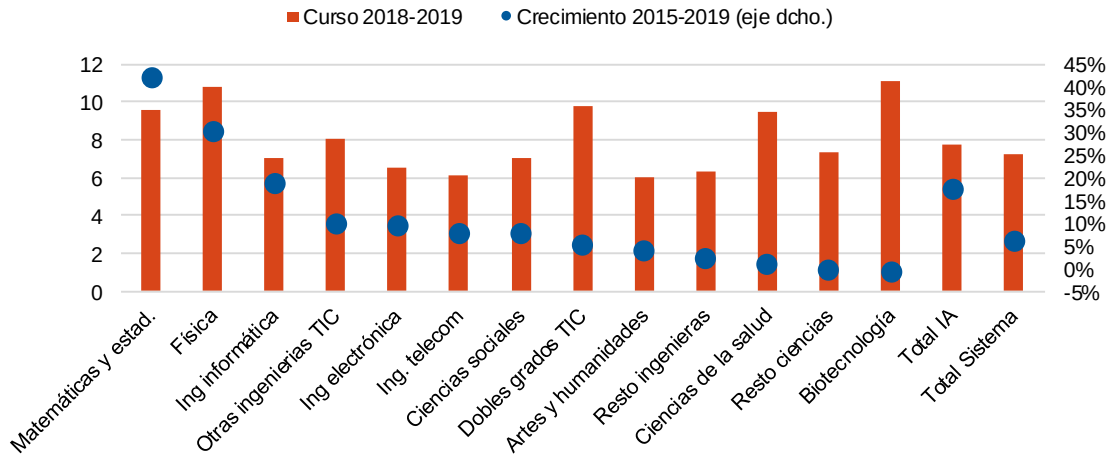
Gráfico 8: Número de preinscritos en primera opción por plaza ofertada



Fuente: Afi, Ministerio de Educación

La presión por el lado de la demanda de una titulación, en el sistema universitario se traduce en un incremento de la nota mínima de admisión o nota de corte. Pues bien, durante los últimos cuatro cursos académicos hemos asistido a un incremento sistemático de las notas de acceso a las titulaciones asociadas a la IA.

Gráfico 9: Nota mínima de admisión



Fuente: Afi, Ministerio de Educación

De media, la nota de corte en una titulación vinculada con la IA ha crecido un 17,2% desde el curso 2015-2016, muy por encima de lo ocurrido en el conjunto del sistema universitario (5,9%). Así, las carreras asociadas a la IA requieren de media una nota de 7,75 puntos, que es superior a la media del total de ramas, 7,27 puntos. Hace cuatro

cursos, sin embargo, la nota media del sistema (6,86) superaba a la de las titulaciones IA (6,62). En concreto, en Matemáticas y Estadística la nota mínima de admisión ha crecido casi 3 puntos en cuatro cursos académicos (de 6,75 a 9,59), y en Física lo ha hecho en más de 2,5 puntos (de 8,34 a 10,85).

Estos resultados evidencian la afección de las rigideces administrativas en el sistema universitario español en la escasez de capital humano especializado en ámbitos asociados a la IA, ya que la demanda de titulaciones asociadas a la IA ha crecido sistemáticamente más rápido que la oferta, llegando incluso a duplicarla en titulaciones como Física o Matemáticas, en el transcurso de los últimos cuatro cursos académicos.

6. Conclusiones

Durante los últimos años, la aceleración de los logros y avances en materia de IA han ido acompañados por un interés creciente acerca de las posibilidades de esta técnica. Muchos científicos y analistas la consideran ya como una tecnología de interés general, comparable a la máquina de vapor o a los ordenadores, capaz de engendrar innovaciones complementarias en una amplia variedad de campos, desde la salud a la energía, pasando por el transporte o la agricultura.

El potencial transformador de la IA tiene también numerosas implicaciones para la economía. Las bondades de dicha técnica, plasmadas en incrementos de la eficiencia y eficacia de muchas inversiones y servicios, debería repercutir positivamente en el nivel de productividad de empresas y países. Sin embargo, la proximidad temporal de la irrupción de la IA, unido a las tradicionales dificultades de medición de los avances digitales, dificultan su reflejo en las estadísticas de productividad.

Uno de los mecanismos de impacto de la IA en la productividad es la sustitución de humanos por máquinas en tareas rutinarias. Esta es, al mismo tiempo, una de las principales preocupaciones de quienes alertan de la repercusión en el mercado de trabajo. No obstante, si bien la IA tiene la capacidad de automatizar ciertas ocupaciones, las posibilidades que ofrece en términos de nuevos productos, servicios y puestos de trabajo, desembocaría en una creación neta de empleo, en línea con lo ocurrido durante otras revoluciones tecnológicas a lo largo de la historia.

Entre los principales desafíos a los que se enfrenta la IA en España se encuentran dos fundamentales: la promoción de la generación, captación y acceso a los datos, y la captación de capital humano especializado. Respecto al primero, las medidas legislativas deben afrontar el reto de combinar el respeto por la privacidad de los ciudadanos y el derecho al anonimato de sus datos, con la necesidad de promover el uso innovador del dato y el open data, esenciales en el desarrollo de la IA. También resulta esencial la identificación de valores éticos y criterios comunes, para llegar a consensos internacionales, siguiendo el ejemplo de la Directiva de protección de datos definida en común por los países de la UE.

Recientes estudios [25] han puesto de manifiesto que las normativas de privacidad de los datos pueden crear barreras en el desarrollo de la IA, especialmente entre las pymes, dado que podrían limitan la combinación de datos de diversas fuentes y, por tanto, la eficacia de los algoritmos. Además, dichos estudios subrayan que, entre las directrices existentes, las de ámbito general generarían menos desventajas que las sectoriales.

Respecto a la falta de trabajadores especializados, a corto plazo urge la necesidad de captar capital humano foráneo, ofreciendo beneficios fiscales para especialistas en IA o aumentando el número de visados para dicho colectivo, en línea con lo propuesto en otros países como Reino Unido o Francia. Asimismo, no hay que dejar de dedicar esfuerzos a la generación de talento en ramas asociadas a la IA en España, impulsando una transición ágil y ordenada de la oferta universitaria pública, para atender las nuevas necesidades en cuanto a ocupaciones con mayor potencial y demanda en el mercado.

En línea con lo anterior, es importante impulsar y profundizar en la colaboración entre empresas punteras en el diseño de soluciones de IA y centros académicos, de investigación y otros, públicos; con el fin de obtener sinergias y que las bondades de esta tecnología se filtren a todo el tejido empresarial, especialmente entre las pequeñas y medianas empresas.

Referencias bibliográficas

[1] Brynjolfsson, E., Collis, A., Diewert, W.E., Eggers, F., Fox, K.J. (2019). “GDP-B: Accouting for the Value of New and Free Goods in the Digital Economy”, NBER, Working Paper 25695

[2] Accenture. (2016). “Why Artificial Intelligence is the Future of Growth”.

[3] McKinsey. (2018). “Notes from the AI Frontier. Modeling the Impact of AI on the World Economy”.

[4] PWC. (2018). “The macroeconomic impact of artificial intelligence”.

[5] ADEI (2017). El trabajo del futuro

[6] EL PAÍS (1997). “Deep Blue gana a Kaspárov al estilo de Kárpov”

[7] Esteva, A., Kuprel, B., Novoa, R., Swetter, S., Blau, H., Thrun, s. (2017). “Dermatologist-level classification of skin cancer with deep neural networks”, *Nature*, 542, 115-118.

[8] US National Science and Technology Council. (2016). “The National Artificial Intelligence Research and Development Strategic Plan”.

[9] Japan Strategic Council for AI Technology. (2017). “Artificial Intelligence Technology Strategy”.

[10] China State Council. (2017). “New Generation Artificial Intelligence Development Plan”.

[11] United Kingdom House of Lords. (2018). “AI in the UK: ready, willing and able?”.

[12] French Government. (2018). “AI for humanity. French Strategy for Artificial Intelligence”

[13] French Government. (2018). “AI for humanity. French Strategy for Artificial Intelligence”

[14] Gobierno de España. Ministerio de Ciencia, Innovación y Universidades. (2019) “Estrategia Nacional de Inteligencia Artificial”

[15] Generalitat Valenciana. (2019). Estrategia de Inteligencia Artificial.

[16] Varian, H. (2018). “Artificial Intelligence, Economics, and Industrial Organization”, NBER, Working Paper 24839.

[17] MINSAIT (2018). Tendencias en medios de pago.

[18] Aghion, P., Jones, B.J, Jones, C.J. (2017). “Artificial Intelligence and Economic Gorwth”, NBER, Working Paper 23928.

[19] Agrawal, A., Gans, J., Goldfarb, A. (2019). “The Economics of Artificial Intelligence: An Agenda”, University of Chicago Press.

[20] Martens, B., Tolan, S. (2018). “Will this time be different? A review of the Impact of Artificial Intelligence on Employment, Incomes and Growth”. JRC Digital Economy Working Paper 2018-08, European Commission.

[21] Autor, D. (2015). “Why Are There Still So Many Jobs”, *Journal of Economic Perspectives*, 29 (3), 3-30.

[22] Acemoglu, D., Autor, D. (2011). “Skills, Tasks and Technologies: Implications for Employment and Earnings”, *Handbook of Labor Economics*, 4, 1043-1071.

[23] Acemoglu, D., Restrepo, P. (2019). “Automation and New Tasks: How Technolgy Displaces and Reinstates Labor”, *Journal of Economic Perspectives*, 33 (2), 3-30.

[24] Brynjolfsson, E., Rock, D., Syverson, C. (2017). “Artificial Intelligence and the Modern Productivity Paradox: A Clash of Expectations and Statistics”, NBER, Working Paper 24001.

[25] Lee, Y.S., Larsen, B., Webb, M., Cuéllar, M.F. (2019). “How Would AI Regulation Change Firms’ Behavior? Evidence from Thousands of Managers”, SIEPR, Working Paper 19-031.