



Trabajo Fin de Grado

Efectos de la inteligencia artificial: una aplicación al uso
de robots en el sector industrial

Autor:

Diego Cortés Buisán

Directora:

Raquel Langarita Tejero

Facultad de Economía y Empresa, Zaragoza

2023

RESUMEN

Últimamente está muy presente en los medios de comunicación la inteligencia artificial, tanto para bien como para mal. En este trabajo se hará un repaso de esta tecnología empezando por su historia y pasando a profundizar en los sectores donde más presente y futuro va a tener, el sector sanitario, el automovilístico y la industria, donde se hablará de sus principales aplicaciones. Para terminar, se realizará un análisis econométrico con datos de una serie temporal en el que se analizará la correlación entre los robots instalados en todo el mundo con el PIB per cápita y el empleo en el sector industrial. Los resultados empíricos concluyen que existe una correlación positiva entre el PIB per cápita y el número de robots y una correlación negativa entre el porcentaje de empleo que se dedica al sector industrial y el número de robots.

Palabras clave: inteligencia artificial, PIB, empleo, análisis econométrico.

ABSTRACT

Artificial intelligence has been very present in the media recently, both for good and for bad. This paper will review this technology, starting with its history and going on to examine in depth the sectors where it will have the greatest present and future, the health sector, the automotive sector, and the industry, where we will discuss its main applications. Finally, an econometric analysis will be conducted with data from a time series in which the correlation between robots installed in the entire world with the GDP per capita and employment in industrial sector will be analysed. The empirical results conclude that there is a positive correlation between GDP per capita and the number of robots and a negative correlation between the share of employment in the industrial sector and the number of robots.

Keywords: artificial intelligence, GDP, employment, econometric analysis

ÍNDICE

RESUMEN	1
ABSTRACT	1
ÍNDICE DE FIGURAS Y TABLAS.....	3
1.INTRODUCCIÓN.....	4
2. HISTORIA Y ORIGEN	6
3. SITUACIÓN ACTUAL.....	7
4. SECTOR SANITARIO	8
4.1. Retos actuales del sector	8
4.2 Aplicaciones	10
4.3 Consecuencias en la productividad	14
4.4 Desafíos a los que se enfrenta el sector con el uso de la IA	15
5. INDUSTRIA AUTOMOVILÍSTICA	17
5.1 Vehículo autónomo.....	19
5.2 Ejemplo de empresa	22
6. SECTOR INDUSTRIAL	22
6.1 Revisión de la literatura	25
6.2 Análisis econométrico	26
Especificación del modelo econométrico.....	26
Estimación e interpretación	28
Chequeo.....	30
Discusión.....	36
7. CONCLUSIONES.....	37
Referencias	39
Anexos	49

ÍNDICE DE FIGURAS Y TABLAS

Figura 1: Porcentaje de población mayor de cierta edad en España.....	9
Figura 2: Esquema de funcionamiento de SpotLab	12
Figura 3: Primer automóvil con motor de combustión	17
Tabla 1: Variables estudiadas y sus estadísticos descriptivos.	28
Figura 4: Modelo 1 MCO en el MLG. Gretl.	29
Figura 5: Contraste de forma funcional de RESET en el Modelo 1.	31
Figura 6: Determinante del Modelo 1. Ventana de Gretl.	31
Figura 7: Factor de Inflación de la Varianza del Modelo 1. Ventana de Gretl....	32
Figura 8: Modelo 2 MCO en el MLG. Gretl.	32
Figura 9: Contraste de forma funcional de RESET en el Modelo 1.	33
Figura 10: Factor de Inflación de la Varianza en el Modelo 2.	34
Figura 11: Contraste de heterocedasticidad de White del Modelo 2	34
Figura 12: Contraste de heterocedasticidad de Breusch-Pagan del Modelo 2....	34
Figura 13: Contraste de autocorrelación de Breusch-Godfrey del Modelo 2.....	35
Figura 14: Contraste de razón de verosimilitudes de Quandt del Modelo 2	35
Figura 15: Contraste de normalidad de los residuos del Modelo 1	36

1.INTRODUCCIÓN

La Inteligencia Artificial (IA) es un tema que ha estado en el centro de atención en los últimos años, ya que se ha convertido en una tecnología clave para la transformación digital en múltiples sectores. A medida que la IA se vuelve cada vez más sofisticada, las empresas están buscando maneras de aprovecharla para mejorar sus operaciones y mantenerse competitivas en el mercado. En este artículo, se explorará la actualidad de la IA y cómo las empresas están implementándola en sus actividades.

La IA es una tecnología que permite a las máquinas realizar una serie de tareas, que típicamente sólo podían ser realizadas por seres humanos. Con el tiempo, la IA se ha desarrollado en diferentes campos y se ha convertido en una herramienta clave para resolver problemas complejos en múltiples áreas, como en la medicina, la agricultura, la banca, la industria manufacturera, entre otros. A través de la utilización de algoritmos y técnicas de aprendizaje automático, la IA puede analizar grandes cantidades de datos y tomar decisiones basadas en patrones, mejorando la eficiencia y precisión de los procesos.

En la actualidad, las empresas están poniendo en funcionamiento métodos para llevar a cabo la automatización de procesos, y la personalización de productos y servicios. Las aplicaciones de la IA pueden variar desde chatbots de atención al cliente, asistentes virtuales, sistemas de análisis de datos y predicción de tendencias del mercado, hasta la automatización de procesos de producción y la creación de soluciones innovadoras en áreas como la salud y la energía.

Sin embargo, poner en funcionamiento la IA también presenta algunos desafíos. Entre ellos podríamos destacar el riesgo de sesgos en los algoritmos, es decir, cuando en un sistema informático se ven reflejados los valores de los humanos responsables de la codificación y recolección de datos usados en el aprendizaje de esa inteligencia. Esto nos llevaría a unas situaciones faltas de ética y que pueden resultar injustas o discriminatorias para una persona o grupo de personas. Además, existe la preocupación de que la IA pueda desplazar a los trabajadores en ciertos sectores, lo que ha llevado a debatir sobre la responsabilidad social y ética de la tecnología. Esta preocupación ya ha llegado a distintos organismos internacionales como se puede ver en el “*Libro Blanco sobre la inteligencia artificial*” elaborado por la Comisión Europea (2020), en donde se puede apreciar la importancia que se le está dando a esta tecnología desde un punto de vista institucional.

Sin embargo, están de acuerdo en que esta tecnología tiene que ser regulada y abogan por crear una infraestructura digital y un marco político y legal.

En términos generales, una definición aceptada de la Inteligencia Artificial “se refiere a la capacidad de las máquinas para realizar tareas que requieren inteligencia humana, como el aprendizaje, la percepción y el razonamiento” (López, 2023).

Uno de los estudios más influyentes en la definición de la Inteligencia Artificial es el trabajo de John McCarthy et al. (2006), quien en 1955 definió la IA como "la ciencia e ingeniería de hacer máquinas inteligentes". Desde entonces, ha habido una serie de definiciones y enfoques teóricos para la IA, incluyendo el enfoque de sistemas expertos y el de redes neuronales.

El objetivo del presente trabajo es examinar la actualidad de la IA y mostrar las aplicaciones actuales que las empresas o investigadoras/es están utilizando, así como su potencial futuro. También se discutirán algunos de los desafíos y oportunidades que enfrenta la IA. Para ello, se ha enfocado el estudio en el sector de la salud, el automovilístico y el industrial o manufacturero por ser sectores en los que ya se está empezando a aplicar esta tecnología, donde más se está investigando posibles usos y que mayor potencial tienen de cara al futuro (Nexus Integra, 2021). Se terminará con un análisis econométrico, y, dada la dificultad para encontrar datos históricos respecto a la inteligencia artificial, se ha decidido hacer un análisis para el uso de robots. Los robots se podrían considerar como una tecnología muy parecida a la inteligencia artificial, ambas buscan automatizar procesos y son tecnologías que se complementan una a otra (Delgado, 1999).

La estructura del trabajo se organiza de la siguiente forma. En la sección 2 se realiza un repaso de la historia y origen de la inteligencia artificial hasta como se conoce hoy en día. Seguidamente, en la sección 3 se pone el énfasis en la situación actual en la que se encuentra esta tecnología. Después, en las secciones 4 y 5, se habla de las aplicaciones y usos que tiene esta tecnología en el sector sanitario y en el sector automovilístico, respectivamente. La sección 6 se dedica a poner en contexto el sector industrial y se realiza un análisis econométrico con los robots instalados por año como variable endógena. Finalmente, el trabajo termina con unas conclusiones.

2. HISTORIA Y ORIGEN

La Inteligencia Artificial (IA) es una disciplina que ha evolucionado enormemente en las últimas décadas. Su origen se remonta a la década de 1950, cuando se empezó a investigar sobre cómo simular la inteligencia humana en una máquina. Alan Turing publicó el artículo "Computing Machinery and Intelligence"¹, sin embargo, la idea de la IA no es nueva, ya que se han encontrado indicios de ella en la mitología antigua y en la ciencia ficción.

El término "Inteligencia Artificial" fue impuesto por John McCarthy en 1956 durante la Conferencia de Dartmouth, en la que se reunieron algunos/as de los/as principales investigadores/as de la época para discutir sobre la posibilidad de crear una máquina inteligente (McCarthy et al., 2006). Desde entonces, la IA ha sido objeto de intensa investigación y ha evolucionado enormemente.

Uno de los primeros programas de IA fue el "The Logic Theorist"². Este programa era capaz de demostrar teoremas matemáticos a través de la lógica simbólica y se considera el primer paso importante en el desarrollo de la IA.

En la década de 1960, se desarrollaron sistemas de IA capaces de razonar a nivel humano, como el programa "ELIZA", desarrollado por Joseph Weizenbaum (Merino, 2023). Este programa podía mantener conversaciones básicas con los usuarios utilizando técnicas de procesamiento del lenguaje natural.

Durante la década de 1970, se produjo un aumento en el uso de sistemas, en los que se programaban reglas para que la máquina tomase decisiones basadas en información específica. Estos sistemas se utilizaron ampliamente en aplicaciones como el procesamiento de lenguaje natural y la toma de decisiones médicas.

En las últimas décadas, la IA ha evolucionado a una velocidad vertiginosa gracias al creciente poder de procesamiento de los ordenadores, el desarrollo de algoritmos más

¹ Computing Machinery and Intelligence es un artículo que inauguró esta línea de investigación escrito por Alan Turing sobre el tema de la inteligencia artificial. Éste fue publicado en 1950, siendo el primero en sacar a la luz su concepto de lo que ahora se conoce como la prueba de Turing al público en general (Turing, 1950).

² The Logic Theorist fue un programa creado para simular las habilidades de resolución de problemas de un ser humano. La mayoría lo consideró el primer programa de inteligencia artificial, se presentó en la Conferencia de Dartmouth (Staff, 2022), financiado por Research and Development (RAND) Corporation

complejos y el aumento de la cantidad de datos disponibles para su análisis. Esto ha dado lugar a aplicaciones de IA en áreas como el reconocimiento de voz, la visión por ordenador, el procesamiento del lenguaje natural, la robótica y la toma de decisiones.

3. SITUACIÓN ACTUAL

Cada vez hay más empresas y organizaciones que la utilizan para mejorar sus procesos y servicios. Según un informe del McKinsey Global Institute (McKinsey, 2018), se espera que para el año 2030, la Inteligencia Artificial tenga un impacto económico de entre 13 y 22 billones de dólares en todo el mundo.

Uno de los campos donde la Inteligencia Artificial está teniendo un mayor impacto es el de la salud. Se están desarrollando algoritmos de IA para el diagnóstico y tratamiento de enfermedades, así como para la prevención de enfermedades crónicas. Por ejemplo, en un estudio reciente publicado en la revista *Nature Medicine* (Korot et al., 2021), los/as investigadores/as utilizaron la Inteligencia Artificial para detectar la diabetes en pacientes a través del análisis de imágenes médicas.

Otro campo donde la Inteligencia Artificial está teniendo un gran impacto es en la industria de la automoción. Las empresas están utilizando la IA para desarrollar vehículos autónomos, lo que podría revolucionar el transporte en todo el mundo. Según un informe de la consultora Allied Market Research (Abhay, S., Sonia, M., 2022), se espera que el mercado global de los vehículos autónomos alcance los 2.162 millones de dólares para 2030.

Además, la Inteligencia Artificial también está transformando la forma en que las empresas hacen negocios. Se están utilizando algoritmos de IA para predecir la demanda de productos, mejorar la eficiencia en la cadena de suministro y personalizar la experiencia del cliente. Un estudio de Accenture reveló que el 84% de los/as ejecutivos/as de empresas encuestadas en todo el mundo ya está invirtiendo en proyectos de IA (Accenture, s. f.).

Uno de los mayores desafíos es asegurarse de que la IA se utilice de manera ética y responsable, y se diseñen sistemas que respeten los derechos humanos, la privacidad y la seguridad de las personas.

También existe el riesgo de que la IA se use con fines malintencionados, como la creación de *deepfakes*³ o la manipulación de la opinión pública.

En resumen, la situación actual de la Inteligencia Artificial es de un gran crecimiento y desarrollo en múltiples campos, desde la salud hasta la industria de la automoción. Sin embargo, es importante que se aborden los desafíos éticos y de seguridad para garantizar un futuro responsable y sostenible para esta tecnología.

4. SECTOR SANITARIO

En esta sección se hablará del reto al que se enfrenta el sector de la salud y de las distintas aplicaciones que se están desarrollando actualmente. Se empezará poniendo en contexto la situación actual y futura por la que va a pasar el sector y seguidamente se entrará en detalle sobre posibles aplicaciones de la IA en dicho sector.

4.1. Retos actuales del sector

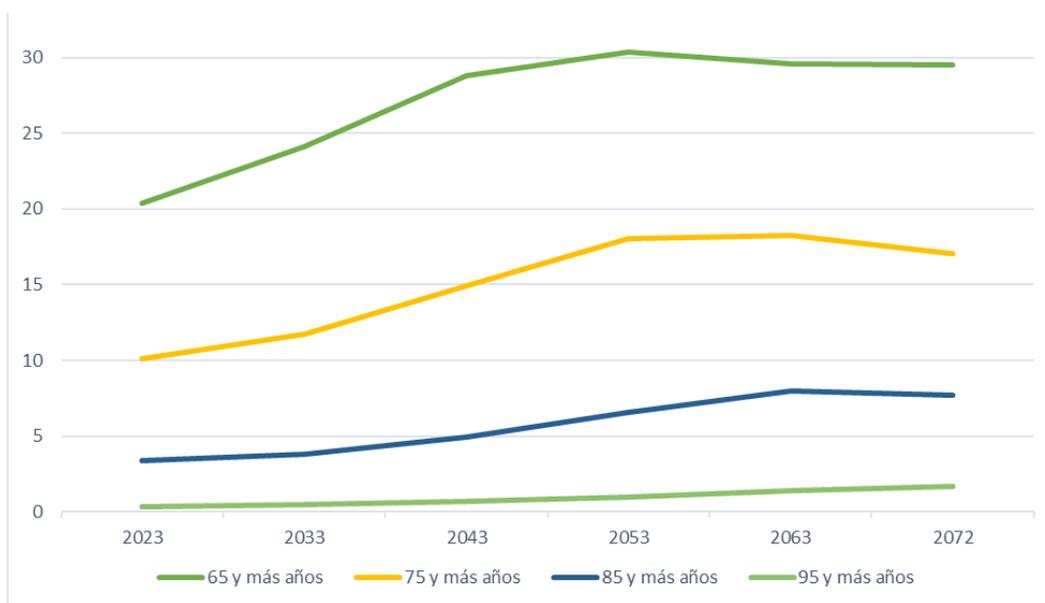
El envejecimiento de la población es un fenómeno que se está produciendo sobre todo en los países desarrollados y que afecta a España (Cordero, 2015). En el año 2023 la población en España mayor de 80 años representaba el 6.0% del total, muy parecido a la media europea que se situaba en 5.9%, mientras que en 2050 se espera que ese porcentaje aumente hasta el 11.6% (INE, 2020).

Se puede apreciar una estimación sobre la evolución del crecimiento demográfico en España (Figura 1), donde se manifiesta el envejecimiento de la población con el aumento progresivo de la proporción de las personas de 60 años y más con respecto a la

³ “Los *deepfakes* son vídeos manipulados para hacer creer a los/as usuarios/as que ven a una determinada persona, tanto si es anónima como si es personaje público, realizando declaraciones o acciones que nunca ocurrieron.” (*Deepfakes*, s. f.)

población total. Es a partir de 2050 cuando se prevé que, en España, motivado por las cada vez más bajas tasas de fecundidad, la evolución del crecimiento demográfico tenga una cierta tendencia a la baja.

Figura 1: Porcentaje de población mayor de cierta edad en España



Fuente: elaboración propia a partir de datos del INE.

Este envejecimiento de la población va a traer severas consecuencias para el sistema sanitario español, ya que las personas mayores son las que más demandan servicios sociosanitarios. En primer lugar, se espera que se produzca un aumento de las enfermedades crónicas y degenerativas relacionadas con la edad, como pueden ser las cardiovasculares, distintos tipos de cáncer, diabetes o el Alzheimer, entre otras.

Esto, a su vez, también va a ser un reto económico y financiero para el sistema sanitario que amenaza su sostenibilidad económica a largo plazo. A medida que la población envejece se espera que la demanda de servicios sanitarios aumente significativamente. Esto incluye no sólo la atención médica sino también la atención preventiva y los servicios de atención domiciliaria. Todos estos servicios son muy costosos y requieren una gran cantidad de recursos de todo tipo, al ser un modelo de

negocio no escalable⁴ y que típicamente está realizado por humanos, supondrá una gran presión sobre la sostenibilidad económica del sistema sanitario.

Una posible solución sería la mejora de la eficiencia en el sector. Históricamente ha sido un sector poco productivo que necesita la intervención del humano por lo que lo hace poco escalable y eficiente. La solución pasaría por una mejora de la eficiencia del sector, mediante la implementación de tecnología, y sobre todo optimizando los procesos, que permitan una mejor gestión de los recursos disponibles reduciendo costes.

4.2 Aplicaciones

En esta subsección se van a ver los principales usos y aplicaciones que se encuentran más desarrollados, entre las que destacan la detección y diagnóstico de enfermedades, el desarrollo de vacunas y medicamentos y la ayuda en las tareas administrativas.

Detección y diagnóstico de enfermedades

El uso de la inteligencia artificial puede proporcionar ventajas a la hora de detectar y diagnosticar enfermedades. El sistema de salud es un sector muy dinámico en el que los y las especialistas se enfrentan continuamente a nuevos retos. Con frecuencia los/as expertos/as se tienen que enfrentar en su día a día al diagnóstico de enfermedades, las cuales, en muchas ocasiones, son un verdadero reto para ellos/as y sobre todo para aquellos y aquellas profesionales con poca experiencia. El tiempo de los y las especialistas suele ser muy limitado y las enfermedades pueden evolucionar y cambiar sus síntomas haciendo que el diagnóstico sea un proceso altamente complejo en algunos casos. Sin embargo, un diagnóstico preciso es obligatorio para asegurar un tratamiento eficaz y, a su vez, conseguir dar un buen servicio al/a paciente.

⁴ Un modelo de negocio escalable es aquel que, aunque sus beneficios aumenten de forma exponencial, sus gastos siguen un crecimiento lineal, es decir, los beneficios y los costes no aumentan en la misma proporción (Calvo, 2021).

SpotLab es una empresa emergente española cuya misión es mejorar el acceso, la precisión, el tiempo, el coste y el impacto medioambiental de la investigación médica y el diagnóstico. Ha desarrollado un sistema de telemedicina de bajo coste que permite el diagnóstico en remoto de enfermedades infecciosas y/o crónicas.

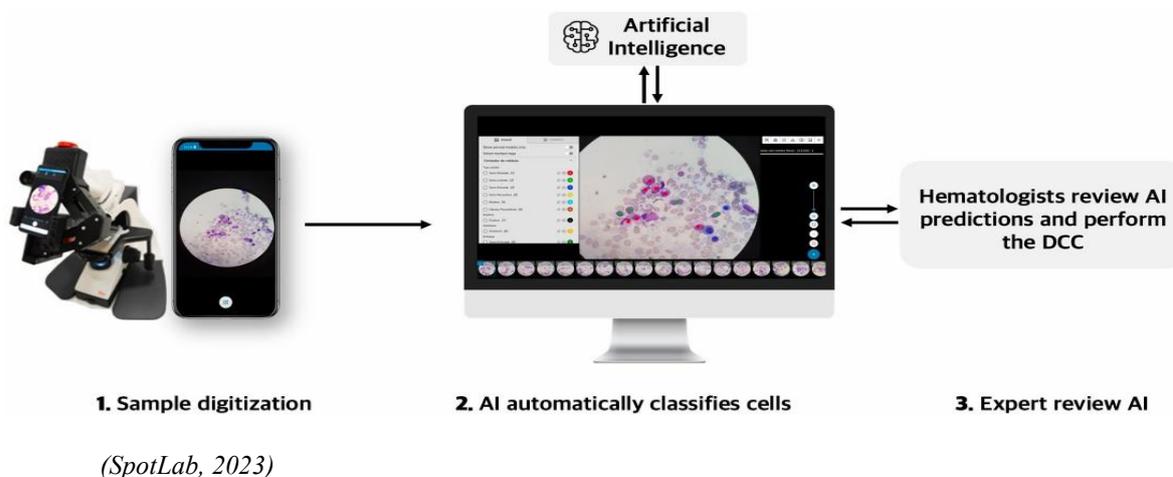
El microscopio es una de las herramientas más importantes para diagnosticar este tipo de afección. Sin embargo, SpotLab ofrece un proceso simple que sólo requiere un microscopio, un teléfono móvil y un asistente de inteligencia artificial para realizar esta evaluación médica remota.

Primero, convierte un teléfono en un dispositivo de imágenes médicas al integrar un dispositivo impreso en 3D que conecta el teléfono a un microscopio. En segundo lugar, a través de una plataforma digital, permite conectar a médicos o investigadores/as con las imágenes captadas a través del teléfono móvil. Finalmente, la inteligencia artificial se utiliza para analizar casos de antemano para ayudar a los/as expertos/as. El funcionamiento se puede ver en la Figura 2

Un caso de uso que ya están aplicando y está dando muy buen resultado es la utilización de la inteligencia artificial para ayudar a diagnosticar enfermedades infecciosas automatizando la detección de parásitos en muestras de sangre. Utilizando un total de 218 muestras de sangre consiguieron crear un algoritmo con una fiabilidad del 90,30%, 80,85% y 84,24% para las enfermedades de filariasis, malaria y mal de Chagas⁵, respectivamente (Rubio & Oroz, 2020). Gracias al algoritmo se ayuda al/a microscopista a proporcionar un diagnóstico preciso y más rápido teniendo la asistencia de la Inteligencia Artificial, que analiza la imagen captada a través del teléfono móvil y detecta la enfermedad (Comisión Europea, s.f).

⁵ La Filariasis, Malaria o el mal de Chagas son enfermedades infecciosas que afectan principalmente a países tropicales y que son transmitidas por vectores, especialmente mosquitos y chinches (Organización Panamericana de la Salud, s. f.).

Figura 2: Esquema de funcionamiento de SpotLab



Diseño de nuevas vacunas y medicamentos

El descubrimiento de fármacos es un proceso complejo y lento que implica la identificación y el desarrollo de nuevos compuestos farmacéuticos. La IA tiene el potencial de acelerar este proceso al ayudar en la identificación de posibles fármacos candidatos y predecir su eficacia (Fleming, 2018).

Una de las formas en las que se está aprovechando esta tecnología en el descubrimiento de fármacos es mediante el uso de algoritmos de aprendizaje automático para analizar grandes conjuntos de datos. Mediante el análisis de datos de proyectos de descubrimiento de fármacos anteriores, estos algoritmos pueden identificar patrones y predecir la probabilidad de éxito de nuevos compuestos (Magazzino et al., 2022).

Otra forma en que la IA se está utilizando en el descubrimiento de fármacos es mediante el uso de técnicas de detección virtual. La detección virtual implica el uso de modelos informáticos para simular las interacciones entre un posible compuesto farmacológico y su molécula objetivo. Los algoritmos de IA pueden analizar estas interacciones y predecir qué compuestos tienen más probabilidades de ser efectivos (Arora et al., 2021).

Además, la IA se está utilizando en el desarrollo de la medicina personalizada, donde los planes de tratamiento se adaptan a pacientes individuales en función de su composición genética y otros factores. Mediante el análisis de grandes cantidades de datos de pacientes, la IA puede ayudar a identificar posibles candidatos a fármacos que probablemente sean efectivos para poblaciones específicas de pacientes.

El uso de la IA en el descubrimiento de fármacos ya ha mostrado resultados satisfactorios. Por ejemplo, en 2020, investigadores/as de la Universidad de California en San Francisco, utilizaron IA para identificar un candidato potencial a fármaco para tratar la COVID-19 (Surnar et al., 2020). El fármaco, llamado Ebselen, se identificó a través de una evaluación virtual y se ha mostrado prometedor en estudios clínicos anteriores a la manifestación de los síntomas de la COVID-19.

Una empresa que está destacando es BenevolentAI. Ha desarrollado una plataforma de IA para impulsar una revolución en el descubrimiento de fármacos, desde la identificación de objetivos hasta el desarrollo clínico. La empresa cuenta con su propio equipo farmacéutico para investigar posibles clientes y desarrollar sus propios productos.

Está trabajando en el estudio de diferentes enfermedades, incluidas la enfermedad de Alzheimer y la ELA. BenevolentAI apareció en las noticias cuando descubrió un tratamiento potencial para la COVID-19, el medicamento existente para la artritis reumatoide baricitinib, que ha demostrado mejorar y acelerar la recuperación de los pacientes hospitalizados con COVID-19.

Tareas administrativas

La inteligencia artificial puede mejorar la forma en que las tareas administrativas son llevadas a cabo permitiendo automatizar muchos de sus procesos. El proceso de grabar datos, notas y expedientes académicos en sistemas informativos lleva alrededor del 34% al 55% del tiempo de los médicos (Mozafaripour, 2020), haciendo que esto sea una de las causas de pérdida de productividad para ellos. Las herramientas de documentación clínica que usan técnicas de procesamiento del lenguaje natural pueden ayudar a reducir el tiempo que se pierde organizando y guardando todos esos datos y permitiría tener más tiempo para dedicarlo a tareas que verdaderamente necesiten gran calidad de conocimientos.

Una aplicación que está enfocada en resolver esto es ReListen. Está enfocada en reducir la carga de trabajo de los/as médicos/as en las consultas, permitiéndoles centrarse en los problemas del/a paciente, olvidándose de recabar la información y los datos. Del proceso administrativo y de documentación se encarga el software con Inteligencia artificial permitiendo a los/as doctores/as centrarse en lo verdaderamente importante, brindando una mayor y mejor atención (RTVE, 2023).

4.3 Consecuencias en la productividad

La inteligencia artificial se ha convertido en una tecnología transformadora que tiene el potencial de revolucionar la industria de la salud. Como se ha dicho, la IA se puede usar para analizar grandes cantidades de datos para identificar patrones, hacer predicciones y mejorar la toma de decisiones en el cuidado de la salud. Se espera que la adopción de la IA en el campo de la salud mejore la productividad, la eficiencia y la calidad de la atención médica.

La productividad en el cuidado de la salud se refiere a la cantidad y calidad de la producción por unidad de bien consumido que incluye factores como el tiempo, los recursos y la tecnología. Mejorar la productividad en el cuidado de la salud puede ayudar a reducir costes, mejorar los resultados de los y las pacientes y aumentar el acceso a la atención. La implementación de la IA tiene el potencial de impactar significativamente en la productividad del sector de la salud.

Como se ha visto en el presente trabajo, se espera que la implementación de la IA en el sector de la salud aumente la productividad a través de una variedad de medios. Una forma significativa en la que la IA puede mejorar la productividad es mediante la automatización de tareas repetitivas, lo que permite a los proveedores de atención médica concentrarse en tareas más complejas y especializadas. Además, la IA puede ayudar a mejorar la precisión y la velocidad del diagnóstico, lo que lleva a un tratamiento más rápido y mejores resultados para los pacientes.

Según un informe de Accenture (2020), la IA tiene el potencial de agregar 150 mil millones de dólares en valor anual a la industria global de la salud para 2026. Esto se debe en parte al supuesto aumento de la productividad que la IA puede aportar al sector. Además, la IA puede ayudar con la clasificación de pacientes, mejorando la eficiencia de los flujos de trabajo de atención médica y reduciendo los tiempos de espera.

Otros estudios han encontrado resultados similares. Un estudio publicado en *The Lancet Digital Health* (Esteve et al., 2017) descubrió que el diagnóstico de cáncer de piel asistido por IA tenía una mayor precisión diagnóstica y era más rápido que los métodos tradicionales, lo que mejoraba la productividad y los resultados de los y las pacientes. Otro estudio (Ting et al., 2017) encontró que la detección asistida por IA para la retinopatía diabética⁶ mejoró la productividad y la eficiencia de los/as proveedores/as de atención médica.

En el caso específico de los enfermeros/as se ha comprobado que el uso de herramientas con IA incrementa la productividad entre un 30-50% (McKinsey, 2016).

4.4 Desafíos a los que se enfrenta el sector con el uso de la IA

Nos encontramos en un sector altamente regulado donde cada paso debe ser meticulosamente calculado y controlado. Por tanto, es crucial que los proveedores de servicios médicos, los pacientes, los legisladores y la industria, se unan para enfrentar los obstáculos que se presenten en este camino. A continuación, se van a comentar los desafíos que pueden surgir al introducir esta tecnología:

- Responsabilidad profesional: a medida que aumenta el uso de la IA en la industria de la salud, pueden surgir preguntas sobre quién es responsable si algo sale mal. Por ejemplo, si un diagnóstico realizado por un sistema de IA resulta ser incorrecto, ¿quién será responsable de los daños causados al/la paciente? Este problema requerirá que se establezca un marco legal claro para abordar la responsabilidad y la rendición de cuentas.
- Implicaciones para el mercado laboral: el mayor uso de la IA en la atención médica podría provocar el desplazamiento laboral o cambios en las responsabilidades laborales de los trabajadores de la salud. Esto podría afectar a varios roles, como radiólogos/as, patólogos/as y otros/as profesionales

⁶ Según la National Eye Institute (2022) "la retinopatía diabética es una afección del ojo que puede causar pérdida de visión y ceguera en personas con diabetes."

médicos/as cuyas tareas están siendo automatizadas por los sistemas de inteligencia artificial.

- Competencias del/a proveedor/a: los/as proveedores de atención médica deberán desarrollar nuevas competencias y habilidades para trabajar y administrar los sistemas de IA. Deberán poder comprender el resultado de los sistemas de IA e integrarlo en su práctica de una manera que sea efectiva y segura.
- Consideraciones éticas: el uso de la IA en el cuidado de la salud plantea cuestiones éticas importantes, como la equidad y la transparencia de los algoritmos y la posibilidad de caer en sesgos⁷ en los datos utilizados para entrenar estos sistemas. También puede haber preocupaciones sobre la privacidad y la confidencialidad, ya que los sistemas de inteligencia artificial recopilan y analizan grandes cantidades de datos personales de salud (Antoniades, 2021).
- Cumplimiento normativo: existe una variedad de regulaciones que las organizaciones de atención médica deben cumplir, como la HIPAA (Health Insurance Portability and Accountability Act) en los Estados Unidos, es una ley que busca proteger los datos de los pacientes (Maliha et al., 2021). El uso de la IA en el cuidado de la salud requerirá que se establezcan nuevas regulaciones y estándares para garantizar el uso ético y seguro de estos sistemas.
- Relación proveedor-paciente: el uso de IA en la atención médica puede afectar la relación proveedor-paciente, lo que podría reducir la cantidad de interacción humana y los puntos de contacto que los pacientes tienen con los proveedores de atención médica. Esto podría tener implicaciones para la satisfacción del paciente y la calidad general de la atención.

⁷ Un sesgo es un tipo de error sistemático que tiene lugar de manera inconsciente y que influye en los pensamientos o decisiones (IONOS, 2020).

Estos desafíos resaltan la necesidad de una cuidadosa consideración y planificación en la integración de la IA en la industria de la salud. Es importante equilibrar los beneficios potenciales de la IA con las implicaciones éticas, legales y sociales de su uso.

5. INDUSTRIA AUTOMOVILÍSTICA

El sector de la automoción tiene una larga y rica historia, que se remonta a finales del siglo XIX, cuando Karl Benz (Cano, 2016) desarrolló el primer automóvil a gasolina (Figura 3).

Figura 3: Primer automóvil con motor de combustión



(Cano, 2016)

Desde entonces, la industria ha crecido exponencialmente, convirtiéndose en un importante contribuyente a las economías globales y generando millones de puestos de trabajo en todo el mundo.

Hoy en día, la industria de la automoción es uno de los sectores más grandes e importantes del mundo. Según la Organización Internacional de Fabricantes de Vehículos Motorizados (OICA), hay más de 1.400 millones de vehículos en circulación en todo el mundo (Amadoz, 2022).

El sector de la automoción también es muy importante en cuanto a la generación de empleos, con millones de personas trabajando en diversos roles en la cadena de suministro, desde el diseño y la ingeniería hasta la fabricación y las ventas. De hecho, se estima que la industria automotriz mundial genera alrededor de 50 millones (OICA, 2023) de puestos de trabajo.

Si bien la industria ha experimentado un crecimiento y una evolución significativos a lo largo de los años, también se ha enfrentado a numerosos desafíos, que incluyen recesiones económicas, cambios en las preferencias de los/as consumidores/as y preocupaciones crecientes sobre la sostenibilidad ambiental (Bell Rae & K.Binder, 2023).

En España, el sector de la automoción es una parte vital de la economía del país, generando aproximadamente el 10% del PIB español y es responsable del 18% de las exportaciones (ANFAC, 2022). España es el segundo mayor fabricante de automóviles de Europa y el octavo del mundo, con una producción de más de 2,1 millones de vehículos en 2021 (ANFAC, 2022).

A pesar de la pandemia de la COVID-19 y otros desafíos, la industria de la automoción española se ha mantenido resistente, con empresas adaptándose rápidamente a los nuevos protocolos de seguridad e implementando medidas para mantener los niveles de producción. Además, la industria está invirtiendo fuertemente en innovación y tecnología, con un enfoque en el desarrollo de nuevos vehículos eléctricos y autónomos.

El gobierno español ha puesto en funcionamiento varias políticas e iniciativas para apoyar la transición hacia una energía y movilidad más limpias, incluidos incentivos fiscales para vehículos eléctricos y financiación para investigación y desarrollo.

En general, el sector de la automoción es una industria esencial y dinámica que desempeña un papel importante en la configuración de la economía mundial. La industria continúa evolucionando e innovando, y superando las dificultades para converger hacia un futuro sostenible, verde y conectado.

En las dos siguientes subsecciones se va a ver cómo se puede aplicar la inteligencia artificial en el sector. Primero se explicará qué es el vehículo autónomo, pasando por su historia y viendo la situación actual en la que se encuentra su desarrollo, los grados que hay y casos en los que se puede utilizar para mejorar el día a día de las personas. Por último, se verá un ejemplo de una empresa que está desarrollando un negocio gracias al vehículo autónomo.

5.1 Vehículo autónomo

Los vehículos autónomos, también conocidos como coches sin conductor/a, son un tipo de vehículo que puede operar sin necesidad de intervención humana. Esta tecnología revolucionaria tiene el potencial de transformar el transporte tal como lo conocemos, y muchos/as expertos/as creen que nos dirigirá a carreteras más seguras y a una mayor movilidad y sostenibilidad ambiental.

El concepto de vehículos autónomos ha existido durante décadas, pero sólo en los últimos años la tecnología ha avanzado hasta el punto en el que se pueda llevar a cabo de manera realista. Los automóviles autónomos se basan en una variedad de sensores, que incluyen cámaras y radares, para detectar su entorno y tomar decisiones sobre cómo navegar a través de ellos.

Hay muchos beneficios potenciales para la adopción generalizada de vehículos autónomos. Por un lado, los automóviles autónomos podrían reducir drásticamente la cantidad de accidentes de tráfico y muertes, ya que no están sujetos a errores humanos o distracciones, aunque también es cierto que está por probar la capacidad de reacción que éstos tendrán ante imprevistos que no estén programados. Además, los vehículos autónomos podrían hacer que el transporte sea más accesible para las personas que actualmente no pueden conducir debido a discapacidades u otras razones.

También existen posibles desventajas en la adopción generalizada de vehículos autónomos. Una preocupación es la posible pérdida de empleos en la industria del transporte, ya que muchas personas que trabajan como conductores/as podrían quedar despedidas. Además, existe preocupación sobre el potencial de ataques cibernéticos en vehículos autónomos, ya que los piratas informáticos podrían tomar el control de los vehículos y causar accidentes u otros problemas.

Para ver cómo de desarrollado está el vehículo autónomo es fundamental conocer su historia y la evolución que ha tenido a lo largo de los años. La historia de los vehículos autónomos está todavía por escribirse, aún falta mucho tiempo hasta que tanto países como ciudadanos/as introduzcan este tipo de vehículos en su día a día.

El primer vehículo autónomo fue desarrollado en la década de 1920 por Houdina Radio Control, una empresa de equipos de radio en los Estados Unidos (García Gil, 2021). El vehículo fue diseñado para seguir un camino predeterminado utilizando señales de radio transmitidas desde una torre de control. Sin embargo, la tecnología no era confiable y el proyecto finalmente se abandonó.

En la década de 1980, la Universidad Carnegie Mellon comenzó a investigar sobre vehículos autónomos. El proyecto "Navlab"⁸ de la universidad implicó el desarrollo de un vehículo equipado con sensores y cámaras que le permitieron circular de forma autónoma. El proyecto Navlab fue un importante paso adelante en el desarrollo de vehículos autónomos y allanó el camino para nuevos avances.

Ernst Dickmanns, un experto ingeniero aeroespacial de Alemania logró situar a Europa en una posición líder en la carrera por el desarrollo de vehículos autónomos (Oliva, 2018). El destacado fundador de Mercedes-Benz, Daimler-Benz, se mostró interesado en sus innovadoras ideas y, en 1986, en el marco del programa europeo Eureka Prometheus⁹, decidió encargarle a Dickmanns la tarea de convertir uno de sus vehículos en un automóvil capaz de conducirse de manera autónoma, aprovechando el sistema de visión dinámica que él mismo había creado. Este proyecto se llevó a cabo con una inversión de 749 millones de euros, aportados por los principales fabricantes de automóviles europeos, con el objetivo de competir con las investigaciones en la industria automotriz de otros países. (Sánchez, 2015)

⁸ Fue uno de los primeros coches autónomos en el que consiguieron viajar una distancia total de 1800 kilómetros a una velocidad media de 30 km/h (CMU Robotics Institute, 2016)

⁹Fue la iniciativa de investigación y desarrollo más importante jamás emprendida en el área de los automóviles autónomos. Obtuvo una financiación de 749 y estableció el estándar actual para los vehículos autónomos. Una multitud de universidades y empresas automotrices contribuyeron a este esfuerzo a nivel europeo (Proyecto Eureka Prometheus, s. f.).

En los últimos años, la tecnología de vehículos autónomos ha avanzado rápidamente, gracias en parte a las inversiones de las principales empresas tecnológicas y fabricantes de automóviles. El proyecto de automóvil autónomo de Google, ahora conocido como Waymo, comenzó a probar vehículos autónomos en vías públicas en 2009 (Associated Press, 2016).

Clasificación

El vehículo autónomo puede ser de distintos tipos o definiciones dependiendo del grado de automatización de éste. Aunque hay distintos organismos que han hecho su propia clasificación del vehículo autónomo, la que más acogida tiene a nivel internacional es la Administración Nacional de Seguridad del Tráfico en las Carreteras (Guilleuma González, 2021), más conocida por sus siglas en inglés como “NHTS” o National Highway Traffic Safety Administration, es uno de los organismos pertenecientes al Departamento de Transporte del Gobierno de los Estados Unidos. Según ellos, el vehículo autónomo se clasifica en cinco niveles que van desde el nivel 0 con ninguna autonomía al 4 con plena autonomía, pasando por el 3, que sería una autonomía limitada, que es el caso en el que se encuentra el desarrollo de estos vehículos.

Principales aplicaciones del vehículo autónomo

Algo que todo el mundo puede observar es la revolución que están sufriendo los taxis o los vehículos con conductor con la llegada en los últimos años de aplicaciones como Uber o Cabify que han digitalizado este negocio adaptándolo a los tiempos actuales. Un uso del vehículo autónomo que tarde o temprano se acabará generalizando será utilizarlo en el transporte de personas o como taxi.

La integración de vehículos autónomos e IA en el sector del transporte de personas tiene el potencial de generar numerosos beneficios, incluida una mayor seguridad, una reducción de la congestión del tráfico y menores costes. Los taxis autónomos podrían operar las 24 horas del día, lo que reduciría la necesidad de conductores humanos y aumentaría la cantidad de vehículos disponibles.

5.2 Ejemplo de empresa

Una empresa que está liderando el camino en taxis autónomos es Waymo, una empresa de tecnología de conducción autónoma que está desarrollando taxis autónomos en varias ciudades de los Estados Unidos. La empresa utiliza sensores avanzados, algoritmos y aprendizaje automático para navegar y tomar decisiones sin intervención humana.

El proyecto Waymo comenzó en secreto en 2009 (Associated Press, 2016), dirigido por Sebastian Thrun, coinventor de Google Street View.

Para 2012, Waymo había agregado un Lexus RX450h (Lavrinc, 2012) a su flota y ya había recorrido más de 300.000 millas sin conductor.

En 2015, Google diseñó un nuevo vehículo llamado "Firefly" (Waymo, 2018), construido sin volante ni pedales como una visión para el futuro del diseño de vehículos autónomos.

Waymo anunció una colaboración con Uber, en virtud de la cual integrará su tecnología autónoma en el servicio de camiones de carga de Uber. El 13 de diciembre de 2022 (Waymo, s. f.), Waymo solicitó el último permiso necesario para operar taxis completamente autónomos, sin conductor de respaldo, dentro del estado de California.

6. SECTOR INDUSTRIAL

El sector industrial se caracteriza por ser un sector en el que se realizan muchas tareas repetitivas, por lo que se tiende a automatizar procesos. Es por eso por lo que el uso de robots ¹⁰ es tan extenso en este sector.

¹⁰ Un robot es un dispositivo mecánico controlado por un ordenador, programable y que puede estar equipado con sensores (Camarillo et al., 2004).

En el sector industrial, los robots se utilizan para automatizar tareas repetitivas y laboriosas, aumentar la productividad, mejorar la eficiencia y mejorar la seguridad general.

Los robots se utilizan mucho en las plantas de fabricación para tareas como el montaje, la soldadura, la pintura, el embalaje y el control de calidad. Pueden realizar estas tareas con alta precisión y velocidad, lo que da como resultado tasas de producción más altas y una mejor calidad del producto. También se utilizan para manipular y transportar materiales y objetos pesados en fábricas y almacenes. Pueden levantar, mover y apilar objetos, lo que reduce la demanda de mano de obra y minimiza el riesgo de lesiones. Otro caso de uso podría ser los robots que están equipados con sensores y cámaras para inspeccionar y probar la calidad del producto. Pueden detectar errores, medir dimensiones y realizar inspecciones exhaustivas con mayor velocidad y precisión que los trabajadores humanos.

Sin embargo, hay robots que están diseñados para trabajar con humanos de forma colaborativa, conocidos como cobots (Feixas, 2022). Pueden ayudar a realizar tareas que requieren destreza humana y precisión robótica, como ensamblar piezas pequeñas u operaciones complejas.

Además, pueden jugar un papel importante en las operaciones de logística y almacenamiento. Pueden organizar productos de manera eficiente, recoger y colocar artículos en estantes y optimizar la gestión de inventario (Logistec, 2022). Otros se implementan en entornos que son peligrosos o inadecuados para los humanos, como el manejo de sustancias peligrosas o el trabajo en temperaturas extremas. Pueden realizar tareas en estas condiciones extremas, lo que reduce el riesgo de daño a los humanos.

La inteligencia artificial ha cambiado por completo el campo de la robótica en los últimos tiempos (Darlington, 2019). Estas tecnologías han supuesto una importante revolución, potenciando la inteligencia, la eficiencia y la adaptabilidad de los robots a tareas y entornos complejos.

Los robots desempeñan un papel fundamental en la supervisión en tiempo real del proceso de fabricación, la detección de defectos y la identificación de anomalías en los productos (Sundaram & Zeid, 2023). Al integrar esta tecnología, los fabricantes pueden mejorar la calidad del producto y minimizar la necesidad de intervención manual en el proceso de control de calidad. La identificación de defectos en tiempo real permite ajustes

rápidos, lo que ayuda a los fabricantes a eliminar cuellos de botella y mejorar la calidad general del producto.

La implementación de la IA facilita el mantenimiento predictivo (Pookkuttath et al., 2021), donde se evalúan los equipos industriales en busca de posibles fallos. Al aprovechar los conocimientos basados en datos, el mantenimiento se puede programar de manera proactiva. En lugar de esperar a que ocurra un fallo o avería en el equipo o maquinaria, se toman medidas preventivas para realizar el mantenimiento antes de que surjan problemas. Esto implica utilizar datos y análisis para predecir posibles fallos y programar actividades de mantenimiento en momentos oportunos, evitando interrupciones en la producción y maximizando la eficiencia operativa, minimizando el tiempo de inactividad y optimizando la productividad. El mantenimiento predictivo permite a los fabricantes abordar los problemas antes de que ocurran averías, lo que lleva a una mayor eficiencia operativa.

Equipar a los robots con esta tecnología resulta particularmente beneficioso en entornos peligrosos o tareas que requieren precisión (Gumbs et al., 2021). Los robots autónomos permiten a los fabricantes realizar tareas de manera eficiente, garantizando la seguridad de los trabajadores y aumentando la productividad.

Se están revolucionando los procesos de ensamblaje, haciendo que los robots sean más inteligentes, rápidos y eficientes. Al emplear sistemas de control de IA, los fabricantes pueden optimizar las operaciones de ensamblaje robótico, adaptarse a condiciones cambiantes, colaborar con operadores humanos y aprender de experiencias pasadas para mejorar el rendimiento futuro (Murugamani et al., 2022).

También facilitan la optimización de procesos, determinando las técnicas de fabricación más efectivas (Abioye et al., 2021). Mediante el análisis de datos y el empleo de algoritmos inteligentes, los fabricantes pueden reducir el desperdicio, optimizar los procesos y mejorar la eficacia general. Estas tecnologías permiten a los responsables de la toma de decisiones tomar decisiones basadas en datos y lograr la excelencia operativa.

En la siguiente sección se realiza una revisión de la literatura sobre las variables que afectan a la instalación de robots, para, posteriormente, en la sección 6.2, analizar a través de un modelo econométrico la demanda mundial de robots. Aunque el objeto del trabajo es la inteligencia artificial, no se cuenta con los suficientes datos como para hacer un análisis, es por eso por lo que se ha decidido analizar la demanda mundial de robots,

tomando la variable robots como una variable aproximada y que comparte muchos parecidos con la inteligencia artificial.

6.1 Revisión de la literatura

Aunque no existen muchos trabajos en los que se hayan hecho análisis econométricos relacionados con la variable, en este caso robots, destacan algunos como el de Leyre Muñoz Chasco (2022) en el que analiza el impacto que están teniendo los robots en el mercado laboral y los efectos que esto puede provocar. En su estudio aparecen varios modelos y la variable robots aparece tanto exógena como endógena. El objetivo de ese análisis es examinar cómo diferentes factores, como la tasa de empleo, la productividad laboral y la desigualdad, pueden influir en la presencia de robots en un conjunto de países pertenecientes a la Organización para la Cooperación y el Desarrollo Económicos (OCDE) durante el período comprendido entre 2006 y 2020. Las estimaciones obtenidas por Leyre revelan que un incremento en la cantidad de robots podría tener un impacto positivo en el empleo femenino. Además, se observa que tanto un aumento en la productividad laboral como en la inversión per cápita en formación de capital fijo pueden estar relacionados con un aumento en la densidad de robots, número de robots industriales por cada 10.000 trabajadores. Por último, se concluye que la desigualdad de salario por género podría disminuir cuando se incrementa el número de robots empleados en el mercado laboral.

Un estudio similar llevado a cabo por Amaia Zugasti Paternain (2019) examina el impacto del uso de robots en el PIB per cápita, la tasa de empleo y la desigualdad, pero se enfoca en cinco países específicos (España, Alemania, Estados Unidos, Corea del Sur y Japón) durante el período de 2005 a 2020. Los resultados obtenidos por Amaia revelan que el uso de robots tiene un impacto positivo en el PIB per cápita. Sin embargo, se observa que el uso de robots tiene un efecto negativo en la tasa de empleo. En cuanto a la desigualdad, el estudio no muestra ninguna influencia significativa de los robots en este aspecto.

De Vries et al. (2020) analizan el impacto que tienen los robots en el empleo, a lo largo de 10 años desde 2005 y para un total de 37 países. Obtienen como conclusión que un aumento en la implementación de robots está significativamente relacionado con una reducción en la proporción de trabajos que requieren tareas manuales rutinarias, además

dice que esta tendencia es visible en los países de ingresos altos, pero no en las economías emergentes o en desarrollo.

Por último, en el artículo de Klenert et al. (2022) hacen un análisis muy parecido al anterior, pero centrando su estudio en Europa, tomando como periodo desde 1995 a 2017 y haciendo una distinción entre empleo de baja, media o alta cualificación. Estos autores concluyen que existe una correlación positiva entre la densidad de robots y el empleo total, sin sacar ningún resultado significativo con la distinción de la cualificación del empleo. Es decir, un aumento en el número de robots va relacionado con un aumento en el empleo, también han obtenido que los países con un alto nivel de automatización son más resistentes a las caídas en el nivel de empleo. Esto contradice la idea de que los robots están reemplazando a los trabajadores.

6.2 Análisis econométrico

En primer lugar, se contará cómo va a ser el modelo utilizado y qué variables estarán incluidas en el modelo, es decir, la especificación del modelo. En el siguiente punto se podrá ver de dónde se han obtenido los datos para hacer el análisis. Después, se podrá ver la estimación del modelo e interpretación de los resultados, el chequeo, y, por último, se discutirá sobre los resultados del análisis econométrico.

Especificación del modelo econométrico

Para analizar los efectos que tienen las distintas variables económicas sobre el número de robots utilizaremos un modelo básico de relación lineal, donde el número de robots es la variable endógena y consideramos como variables exógenas el PIB per cápita, el empleo en el sector industrial (% sobre el total de empleos) y el número de patentes que hay en el sector industrial.

$$ROBOTS = \beta_0 + \beta_1 PIB + \beta_2 PATENTES + \beta_3 EMPLEO + U$$

Las variables estudiadas son expresadas de la siguiente forma:

ROBOTS: Instalación anual de robots industriales en todo el mundo. La Organización Internacional para la Estandarización define un robot industrial como "un

manipulador multipropósito, reprogramable y controlado automáticamente, programable en tres o más ejes, que puede ser fijo en su lugar o móvil para su uso en aplicaciones de automatización industrial" (ISO, 2012).

PIB: PIB per cápita de todo el mundo, el PIB per cápita es el producto interior bruto dividido por la población. El PIB es la suma del valor agregado bruto de todos los productos más los impuestos sobre los productos y menos los subsidios no incluidos en el valor de los productos. Los datos están expresados en dólares estadounidenses constantes de 2015.

EMPLEO: El empleo se define como el número de personas en edad de trabajar que se dedican a cualquier actividad para producir bienes o proveer servicios a cambio de una remuneración o una ganancia. En este caso es el porcentaje de personas de todo el mundo que se dedican al sector industrial respecto al total de empleos.

PATENTES: Referido a las solicitudes anuales de patente, son las solicitudes de patente presentadas en todo el mundo a través del procedimiento del Tratado de Cooperación en materia de Patentes o en una oficina nacional de patentes por los derechos exclusivos sobre un invento: un producto o proceso que presenta una nueva manera de hacer algo o una nueva solución técnica a un problema.

Descripción de los datos

Se ha usado la información de la Federación Internacional de Robots (IFR), como fuente de información para el número de robots industriales instalados anualmente, el resto de las variables han sido obtenidas de los datos de libre acceso del banco mundial (*World Bank Open Data*, s. f.).

El periodo elegido para elaborar el análisis ha sido de 2005 a 2020, la principal razón ha sido porque es el máximo número de años para el que se ha encontrado datos de todas las variables.

Las variables son respecto a todo el mundo, se intentó en un primer momento buscar datos para varios países, pero se consiguieron pocos datos y además el número de años encontrados era mucho menor, lo que dificultaba el análisis. La elección de las variables (Tabla 1) para realizar el análisis econométrico ha sido en base a los estudios que había de esta temática, la introducción de la variable PATENTES ha sido para

introducir una variable distinta que no haya sido estudiada y ver de alguna manera si afecta y cómo afecta la introducción de una variable relacionada con la innovación a la demanda de robots.

Tabla 1: Variables estudiadas y sus estadísticos descriptivos.

	ROBOTS	PATENTES	PIB	EMPLEO
MIN.	60.000	1.038.800	8.626,6407	21,2754
MAX.	423.000	2.378.500	10.936,5886	23,3754
MEDIA	188.786,1552	1.583.140,4244	9.748,7288	22,6769
DESV. TÍPICA	123.747,5757	504.678,3629	709,8021	0,5859
UNIDADES	N.º de robots industriales	N.º de solicitudes de patentes	US\$ a precios constantes del 2015	Porcentaje
FUENTE	IFR	Banco Mundial de Datos	Banco Mundial de Datos	Banco Mundial de Datos

Fuente: elaboración propia.

Estimación e interpretación

Para realizar la estimación se ha usado el método de mínimos cuadrados ordinarios debido a su sencillez.

El modelo estimado sería (Figura 4):

$$\widehat{ROBOTS} = 462366 + 99,2969\widehat{PIB} + (-63893,5)\widehat{EMPLEO} + 0,14235\widehat{PATENTES} + \widehat{U}$$

Una vez recopilado los datos para la elaboración del análisis econométrico se procedió a cargar los datos en Gretl como se puede apreciar en el Anexo I y a la elaboración del Modelo 1 (Anexo II) usando ROBOTS como variable endógena y PIB, EMPLEO y PATENTES como variables exógenas.

Figura 4: Modelo 1 MCO en el MLG. Gretl.

Variable dependiente: ROBOTS				
	coeficiente	Desv. típica	Estadístico t	valor p
const	462366	304818	1,517	0,1552
PIB	99,2969	36,0763	2,752	0,0175 **
EMPLEO	-63893,5	12269,4	-5,208	0,0002 ***
PATENTES	0,143235	0,0483206	2,964	0,0118 **
Media de la vble. dep.	220562,5	D.T. de la vble. dep.	123747,6	
Suma de cuad. residuos	5,31e+09	D.T. de la regresión	21039,46	
R-cuadrado	0,976875	R-cuadrado corregido	0,971093	
F(3, 12)	168,9713	Valor p (de F)	4,44e-10	
Log-verosimilitud	-179,6680	Criterio de Akaike	367,3361	
Criterio de Schwarz	370,4264	Crit. de Hannan-Quinn	367,4943	
rho	-0,027673	Durbin-Watson	2,023882	

Fuente: elaboración propia.

El R cuadrado, conocido como coeficiente de determinación del modelo, es 0,976875 y dice qué porcentaje de la variable endógena viene explicado por las variables exógenas del modelo. En este caso es muy alto (el valor máximo es 1) indicando que las variables exógenas escogidas explican gran parte de los cambios en la variable endógena.

Centrándonos en el resultado de la estimación, se observa que un aumento de un dólar del PIB per cápita provocará una variación positiva en el número total de robots de 99,2969 unidades. Un aumento de una unidad del PIB per cápita (dólares a precios constantes del 2015) quiere decir que la población mundial, que está en alrededor de 8.000 millones de personas, como se puede apreciar en el Anexo IV, incrementaría sus ingresos de media en un dólar, es lo mismo que decir que si aumenta el PIB mundial en 8.000 millones de dólares, aumenta la demanda de robots en 99 unidades. Este aumento en comparación con el PIB total mundial para el año 2020, que se ha calculado multiplicando el dato de PIB pc ¹¹ a dólares constantes del 2015 para el año 2020 (último año del periodo estudiado) por 7.820 millones de habitantes (Banco Mundial, s.f.), dando un valor aproximado para el PIB total en el mundo de 82.040 miles de millones de dólares. Esto quiere decir que esa variación, que representaría un aumento alrededor del 0,010% del total del PIB mundial, provocaría un aumento en la demanda mundial de robots para ese

¹¹ Dato PIB pc a dólares constantes del año 2015 para el 2020 es 10.489,8610550399 (World Bank Open Data, s. f.).

año en 99 unidades, y, si se pone en relación con el número total de robots que había en 2020, 3.035.000 unidades (Anexo V), sería un aumento aproximado de un 0,0032%. Entonces, para tener otro punto de vista de cómo afectaría un cambio de la variable PIB en la variable ROBOTS, se puede decir que un aumento del 0,010% del PIB provocaría un aumento en la variable ROBOTS del 0,0032%. O, lo que es lo mismo, si el PIB aumentara un 1%, el número de robots aumentaría en un 0,32%.

En el caso de la variable empleo, un aumento de una unidad en el porcentaje de personas que se dedican al sector industrial provocará una caída de 63893,5 en el número de robots instalados en un año. Según Fernández (2023) la cifra de empleo a nivel mundial en el año 2020 fue de 3.324,7 millones de personas, según los datos que se han utilizado para elaborar este análisis, un 22,63% trabajaron en el sector industrial ese año, lo que quiere decir que aproximadamente 752,38 millones de personas se dedicaron al sector industrial ese año. Entonces, un aumento en un 1% del empleo en el sector industrial equivaldría aproximadamente a un aumento de 7,52 millones de personas trabajando en el sector industrial, lo que provocaría una caída en la demanda del número de robots para ese año en 63.893,5 unidades. Por último, un aumento de una unidad en el número de solicitudes de patentes aumentaría el número de robots 0,143235 unidades.

Chequeo

Las variables PIB, PATENTES y EMPLEO son significativas individualmente debido a que sus respectivos p-valores son menores que 0,05, como se puede comprobar en la captura de Gretl (Figura 4). Esto indica que los cambios que se produzcan en estas variables influirán en la variable estudiada ROBOTS.

- **Forma Funcional**

{Ho: Forma funcional adecuada
{Ha: Forma funcional no adecuada

Para analizar la forma funcional se ha utilizado el contraste de RESET (Figura 5), el p-valor del contraste es 0,62, siendo mayor que 0,05. No se rechaza la hipótesis nula, por lo que la forma funcional del modelo es la adecuada.

Figura 5: Contraste de forma funcional de RESET en el Modelo 1. Ventana de Gretl.

```
Contraste de especificación RESET -  
Hipótesis nula: [La especificación es adecuada]  
Estadístico de contraste: F(2, 10) = 0,505475  
con valor p = P(F(2, 10) > 0,505475) = 0,61784
```

Fuente: elaboración propia.

- **Multicolinealidad**

Tanto el determinante de la matriz de correlaciones (Figura 6), que da un valor muy cercano a cero, como el contraste del factor de inflación de la varianza (Figura 7) indican problemas de multicolinealidad en el modelo. En presencia de multicolinealidad imperfecta, los errores estándar de estimación de los parámetros se hacen anormalmente grandes y este problema de multicolinealidad podría llevar a que la estimación del modelo no fuera lo suficientemente precisa. Una de las medidas para corregir esta multicolinealidad podría ser eliminar una variable. Se va a probar a eliminar la variable PATENTES y a volver a estimar un modelo nuevo.

Figura 6: Determinante del Modelo 1. Ventana de Gretl.

```
consola gretl: teclee 'help' para obtener una lista de instrucciones  
? matrizvariables= {PIB, PATENTES, EMPLEO}  
Se ha generado la matriz matrizvariables  
? matrizcorrelaciones=mcorr(matrizvariables)  
Se ha generado la matriz matrizcorrelaciones  
? determinante=det(matrizcorrelaciones)  
Se ha generado el escalar determinante = 0.0293791  
? |
```

Fuente: elaboración propia.

Figura 7: Factor de Inflación de la Varianza del Modelo 1. Ventana de Gretl.

Factores de inflación de varianza (VIF)	
Mínimo valor posible = 1.0	
Valores mayores que 10.0 pueden indicar un problema de colinealidad	
PATENTES	20.152
PIB	22.220
EMPLEO	1.751

Fuente: elaboración propia.

El nuevo modelo estimado sería (Figura 8):

$$\widehat{ROBOTS} = -149.878 + 202,092\widehat{PIB} + (-70.735,5)\widehat{EMPLEO} + \widehat{U}$$

Para la elaboración de este modelo (Anexo III) se utilizó de nuevo la variable ROBOTS como endógena, sin embargo, como variables exógenas sólo PIB y EMPLEO.

Figura 8: Modelo 2 MCO en el MLG. Gretl.

Variable dependiente: ROBOTS				
	coeficiente	Desv. típica	Estadístico t	valor p
-----	-----	-----	-----	-----
const	-149878	283473	-0.5287	0.6059
PIB	202.092	12.5776	16.07	5.89e-010 ***
EMPLEO	-70735.5	15237.8	-4.642	0.0005 ***
Media de la vble. dep.	220562.5	D.T. de la vble. dep.	123747.6	
Suma de cuad. residuos	9.20e+09	D.T. de la regresión	26604.66	
R-cuadrado	0.959942	R-cuadrado corregido	0.953779	
F(2, 13)	155.7629	Valor p (de F)	8.27e-10	
Log-verosimilitud	-184.0634	Criterio de Akaike	374.1267	
Criterio de Schwarz	376.4445	Crit. de Hannan-Quinn	374.2454	
rho	-0.003084	Durbin-Watson	1.833901	

Fuente: elaboración propia.

Como se puede ver, el R cuadrado prácticamente no ha disminuido, lo que indica que la variable PATENTES no aportaba nada a la explicación de la variable ROBOTS y que era irrelevante en la estimación. En cuanto al resultado de la

estimación, se observa que existe una correlación positiva entre las variables PIB y ROBOTS y una correlación negativa entre las variables EMPLEO y ROBOTS. Más detalladamente, un aumento en una unidad en la variable PIB provoca un aumento de la variable ROBOTS en 202,92 unidades, mientras que un aumento de la variable EMPLEO en un 1% provoca una caída de la variable ROBOTS en 70.735,5 unidades. Si lo ponemos en comparación con el Modelo 1, utilizando el mismo desarrollo que se ha hecho en el modelo anterior, se puede ver que en este caso sí aumenta el PIB en un 1%, la demanda de robots aumenta un 0,66%. Siendo la variación el doble en este modelo. En el caso del EMPLEO, utilizando los cálculos del Modelo 1 se puede decir que un aumento de 7,52 millones de trabajadores en el sector industrial provocaría una caída en la demanda de robots de 70.735 unidades, que, si lo comparamos con el dato del modelo anterior, 63.893,5, no ha habido tanta diferencia.

Las variables PIB y EMPLEO son significativas individualmente, como se puede comprobar en la captura de Gretl (Figura 8). Esto indica que los cambios que se produzcan en estas variables influirán en la variable estudiada ROBOTS.

- **Forma Funcional**

{Ho: Forma funcional adecuada
{Ha: Forma funcional no adecuada

Para analizar la forma funcional se ha utilizado el contraste de RESET (Figura 9), el p-valor del contraste es 0,06, siendo mayor que 0,05. No se rechaza la hipótesis nula, por lo que la forma funcional del modelo es la adecuada.

Figura 9: Contraste de forma funcional de RESET en el Modelo 1. Ventana de Gretl.

```
Contraste de especificación RESET -  
Hipótesis nula: [La especificación es adecuada]  
Estadístico de contraste: F(2, 11) = 3,75237  
con valor p = P(F(2, 11) > 3,75237) = 0,0572273
```

Fuente: elaboración propia.

- **Multicolinealidad**

El análisis del factor de inflación de la varianza (Figura 10) no da ningún indicio para pensar que el modelo pudiera presentar problemas de multicolinealidad.

Figura 10: Factor de Inflación de la Varianza en el Modelo 2. Ventana de Gretl.

```
Factores de inflación de varianza (VIF)
Mínimo valor posible = 1.0
Valores mayores que 10.0 pueden indicar un problema de colinealidad

      PIB      1,689
      EMPLEO   1,689
```

Fuente: elaboración propia.

- **Heterocedasticidad**

{Ho: Homocedasticidad
{Ha: Heterocedasticidad

Para el contraste de la Heterocedasticidad se han utilizado dos métodos, el de White y el de Breusch-Pagan. En el caso del contraste de White (Figura 11) el p-valor es igual a 0,08, por lo que no se rechaza la hipótesis nula. En el caso del contraste de Breusch-Pagan (Figura 12), el p-valor es 0.07, por lo que no se rechaza la hipótesis nula.

Figura 11: Contraste de heterocedasticidad de White del Modelo 2

```
Contraste de heterocedasticidad de White -
Hipótesis nula: [No hay heterocedasticidad]
Estadístico de contraste: LM = 9.81488
con valor p = P(Chi-cuadrado(5) > 9.81488) = 0.0806537
```

Fuente: elaboración propia.

Figura 12: Contraste de heterocedasticidad de Breusch-Pagan del Modelo 2

```
Contraste de heterocedasticidad de Breusch-Pagan -
Hipótesis nula: [No hay heterocedasticidad]
Estadístico de contraste: LM = 5.3336
con valor p = P(Chi-cuadrado(2) > 5.3336) = 0.0694741
```

Fuente: elaboración propia.

Los dos contrastes retornan p-valores superiores a 0,05, por lo que no se rechaza la presencia de homocedasticidad en el modelo a un nivel de significatividad del 5%. Esto nos indica que las varianzas de las perturbaciones son constantes.

- **Autocorrelación**

{Ho: No hay autocorrelación
{Ha: Existe autocorrelación

El contraste de Breusch-Godfrey (Figura 13) arroja un p-valor de 0,99, es decir, no se rechaza la hipótesis nula. Se concluye que el Modelo 2 no tiene problemas de autocorrelación y por tanto las covarianzas de las perturbaciones son nulas.

Figura 13: Contraste de autocorrelación de Breusch-Godfrey del Modelo 2

```
Contraste LM de autocorrelación hasta el orden 1 -  
Hipótesis nula: no hay autocorrelación  
Estadístico de contraste: LMF = 0.000108266  
con valor p = P(F(1, 12) > 0.000108266) = 0.991869
```

Fuente: elaboración propia.

- **Cambio estructural**

{Ho: El modelo no presenta cambio estructural
{Ha: El modelo presenta cambio estructural

Para estudiar si ha habido cambio estructural en el período estudiado, de 2005 a 2020, se ha utilizado el contraste de razón de verosimilitudes de Quandt (Figura 14), para el que se ha obtenido un p-valor de 0,10, por lo que no se rechaza la hipótesis nula y se afirma que no ha habido cambio estructural.

Figura 14: Contraste de razón de verosimilitudes de Quandt del Modelo 2

```
Contraste QLR de cambio estructural -  
Hipótesis nula: [No hay cambio estructural]  
Estadístico de contraste: chi-cuadrado(3) = 11.9213 en la observación 2017  
con valor p asintótico = 0.105549
```

Fuente: elaboración propia.

- **Normalidad de los residuos**

{Ho: Normalidad
{Ha: No normalidad

El modelo cuenta con una distribución de los residuos normal (Figura 15), el p-valor es 0,39, por lo que no se rechaza la hipótesis nula.

Figura 15: Contraste de normalidad de los residuos del Modelo 1

```
Contraste de normalidad de los residuos -  
Hipótesis nula: [El error tiene distribución Normal]  
Estadístico de contraste: Chi-cuadrado(2) = 1.87745  
con valor p = 0.391127
```

Fuente: elaboración propia.

Discusión

En la literatura previa, se ha visto que los resultados de la variable EMPLEO eran inciertos y en algunos casos contradictorios. Sin embargo, con la variable PIB per cápita se coincide en la existencia de correlación positiva, como se vio en el trabajo de Amaia Zugasti (2019). En este caso, hablando respecto a la demanda de robots de todo el mundo, se puede confirmar que existe una correlación positiva con el PIB per cápita y una correlación negativa del número de trabajadores que se dedican al sector industrial respecto al total de trabajadores. Concretamente, el análisis concluye que un aumento de una unidad en el PIB per cápita mundial hace variar el número de robots en 202,092, en cambio, un aumento de una unidad en el porcentaje de personas que se dedican al sector industrial en todo el mundo provoca una caída de 70.735,5 robots instalados anualmente en todo el mundo.

7. CONCLUSIONES

Últimamente ha aumentado mucho el interés en torno a la inteligencia artificial, hasta el punto de salir casi todos los días en la televisión. Este aumento del interés ha llevado a muchas empresas a desarrollar vías de negocio y productos en torno a esta tecnología.

En el presente trabajo se ha analizado la situación actual y lo que se espera de la inteligencia artificial en los sectores en los que mayor desarrollo, implementación y futuro está teniendo. En la última parte del trabajo se ha hecho un análisis empírico en el que se estudia, a lo largo de 15 años y para todo el mundo, el impacto que está teniendo el PIB per cápita y el nivel de empleo del sector industrial en el número de robots instalados por año. A partir de las estimaciones que se han obtenido, se puede concluir que un aumento en el número de robots viene explicado por un aumento del PIB per cápita y por una disminución en el nivel de empleo en el sector industrial. Con esto se puede apreciar que, si el PIB per cápita sigue una tendencia creciente, el número de trabajadores en el sector industrial migrará hacia otros sectores o se redistribuirá en otras funciones, y aumentará la demanda de robots. Este resultado obtenido con robots podría servir como un estudio preliminar para el estudio empírico de la demanda o el uso de la inteligencia artificial, haciéndonos una idea sobre de qué depende la demanda de tecnologías que buscan automatizar procesos y los efectos que tiene.

Esta revolución industrial que se está viviendo también tendrá implicaciones políticas. Algunos puestos de trabajo pueden volverse obsoletos y esto es algo que puede provocar una preocupación sobre el nivel de desigualdad o de empleo. También es muy importante que exista un marco regulatorio que especifique lo que se puede y no hacer con los datos que recopile una IA, sería fundamental crear políticas que abarcaran la privacidad y protección de los datos y la información personal. Relacionando la IA con los Objetivos de Desarrollo Sostenible (ODS) establecidos por las Naciones Unidas se puede ver que hay numerosos ejemplos en los que el desarrollo y la implantación de esta tecnología puede ayudar a cumplir estos objetivos. Un ejemplo que se ha visto durante este trabajo podría ser en la salud y bienestar de los individuos (ODS3). Se ha visto que la IA puede tener un impacto significativo en la atención médica, desde el diagnóstico hasta el desarrollo de nuevos medicamentos. Otro ejemplo que también se ha visto es la contribución al objetivo 8, a un trabajo decente y crecimiento económico. Aunque

también podría ayudar en el resto de los objetivos porque es una tecnología transversal que tiene infinidad de aplicaciones aún todavía por desarrollar. Sin embargo, algo muy importante es que se deben abordar también cuestiones éticas y de privacidad para garantizar que esta tecnología se utilice de una manera responsable y en beneficio de todos.

Por último, está claro que la inteligencia artificial va a provocar un cambio en la estructura del mercado laboral, aunque sus efectos son todavía inciertos y es necesario observar cómo se desenvuelve la tecnología durante los próximos años para ver el verdadero potencial. Veo necesario seguir estudiando esta tecnología, ya que actualmente es un campo con poca información.

Referencias

- Abhay, S., & Sonia, M. (2022). *Autonomous Vehicle Market Size, Share, Value, Report, Growth.* Allied Market Research. <https://www.alliedmarketresearch.com/autonomous-vehicle-market>
- Abioye, S., Oyedele, L. O., Akanbi, L., Ajayi, A. O., Bilal, M., Akinade, O. O., & Ahmed, A. M. (2021). Artificial intelligence in the construction industry: A review of present status, opportunities and future challenges. *Journal of building engineering*, 44, 103299. <https://doi.org/10.1016/j.job.2021.103299>
- Accenture. (s. f.). *Consultoría y soluciones de inteligencia artificial (IA)*. <https://www.accenture.com/es-es/services/ai-artificial-intelligence-index>
- Accenture. (2020, 30 julio). Artificial Intelligence in Healthcare. *Accenture*. <https://www.accenture.com/au-en/insights/health/artificial-intelligence-healthcare>
- Alcalde, S. (2023, 2 enero). La población mundial crece mucho menos de lo previsto. www.nationalgeographic.com.es. https://www.nationalgeographic.com.es/mundo-ng/poblacion-mundial-crece-mucho-menos-previsto_19098
- Amadoz, S. (2022, 17 marzo). ¿Cuántos coches hay en el mundo en circulación? *El Motor*. <https://motor.elpais.com/actualidad/cuantos-coches-hay-en-el-mundo-en-circulacion/#:~:text=Seg%C3%BAAn%20los%20c%C3%A1culos%20de%20algunos,unidades%20matriculadas%20suman%201.446%20millones.>
- ANFAC. *Categorías publicaciones Informe Anual.* (2022). https://anfac.com/categorias_publicaciones/informe-anual/

- Antoniades, C. (2021). *Artificial intelligence in cardiovascular imaging – principles, expectations, limitations*. ORA - Oxford University Research Archive. <https://ora.ox.ac.uk/objects/uuid:85a6ec3c-1ead-4ed4-872f-5ae814dd3156>
- Arora, G., Joshi, J., Mandal, R. S., Shrivastava, N., Virmani, R., & Sethi, T. (2021). Artificial Intelligence in Surveillance, Diagnosis, Drug Discovery and Vaccine Development against COVID-19. *Pathogens*, 10(8), 1048. <https://doi.org/10.3390/pathogens10081048>
- Asale, R. (s. f.). *robot* / *Diccionario de la lengua española*. «Diccionario de la lengua española» - Edición del Tricentenario. <https://dle.rae.es/robot>
- Associated Press. (2016, 13 diciembre). Google's self-driving-car project becomes a separate company: Waymo - Los Angeles Times. *Los Angeles Times*. <https://www.latimes.com/business/autos/la-fi-hy-google-waymo-self-driving-20161213-story.html>
- Banco Mundial. (s. f.). *Banco Mundial – Desarrollo sostenible, resiliencia y crecimiento económico*. World Bank. <https://datos.bancomundial.org/indicador/SP.POP.TOTL?contextual=population-and-labor&end=2022&start=1960&view=chart>
- Bell Rae, J., & K.Binder, A. (2023, 27 junio). *Automotive industry* / *History, Overview, Definition, Developments, & Facts*. Encyclopedia Britannica. <https://www.britannica.com/technology/automotive-industry/Highway-development>
- BenevolentAI | AI Drug Discovery | AI Pharma*. (s. f.). BenevolentAI (AMS: BAI). <https://www.benevolent.com/>

- Byrne, M. (2016, 7 noviembre). Carnegie Mellon's 1986 Self-Driving Van Was Adorable. *VICE*. <https://www.vice.com/en/article/d7y5xj/carnegie-mellons-1986-self-driving-van-was-adorable>
- Calvo, L. (2021). ¿Cómo crear un modelo de negocio escalable? Ideas y ejemplos rentables. *Blog*. <https://es.godaddy.com/blog/crear-negocio-escalable/>
- Camarillo, D. B., Krummel, T. M., & Salisbury, J. K. (2004). Robotic technology in surgery: Past, present, and future. *American Journal of Surgery*, 188(4), 2-15. <https://doi.org/10.1016/j.amjsurg.2004.08.025>
- Cano, V. (2016, enero 29). El primer coche de la Historia cumple 130 años. *Autobild.es*. <https://www.autobild.es/reportajes/el-automovil-nacio-hace-125-anos>
- CMU Robotics Institute. (2016, 13 octubre). *NavLab 1 (1986): Carnegie Mellon: Robotics Institute History of Self-Driving Cars* [Vídeo]. YouTube. <https://www.youtube.com/watch?v=ntIczNqKfjQ>
- Comisión Europea. (s. f.). *Una empresa emergente pone el móvil y la inteligencia artificial en el centro del diagnóstico rápido de enfermedades gracias al apoyo europeo*. Representación en España, Comisión Europea. https://spain.representation.ec.europa.eu/projects/una-empresa-emergente-pone-el-movil-y-la-inteligencia-artificial-en-el-centro-del-diagnostico-rapido_es
- Comisión Europea. (2020, 19 febrero). *LIBRO BLANCO sobre la inteligencia artificial - un enfoque europeo orientado a la excelencia y la confianza, COM/2020/65 final/2*. Publications Office of the EU. <https://op.europa.eu/es/publication-detail/-/publication/ac957f13-53c6-11ea-aece-01aa75ed71a1>
- Cordero, P. (2015). *Las personas mayores y su salud: situación actual*. <https://www.semanticscholar.org/paper/Las-personas-mayores-y-su-salud%3A->

- situaci%C3%B3n-actual-Cordero-
Fontanillo/fe80780ea31fe1e65f78702d36847f044b5b1c4
- Darlington, K. (2019, 4 noviembre). *Cobots - La era de los robots colaborativos / OpenMind*. OpenMind. <https://www.bbvaopenmind.com/tecnologia/robotica/la-los-robots-colaborativos-los-cobots/>
- Datacommons. (s. f.). *Data Commons*.
<https://datacommons.org/place/Earth?category=Demographics&hl=es>
- De Vries, G. J., Gentile, E., Miroudot, S., & Wacker, K. M. (2020). The Rise of Robots and the Fall of Routine Jobs. *Asian Development Bank Economics Working Paper Series, No. 619*. <https://doi.org/10.2139/ssrn.3769886>
- Deepfakes*. (s. f.). INCIBE.
<https://www.incibe.es/aprendeciberseguridad/deepfakes#:~:text=El%20Concepto,o%20acciones%20que%20nunca%20ocurrieron.>
- Delgado, A. (1999). Robótica inteligente. *Revista de la Facultad de Medicina*, 47(1), 32-34.
- Esteva, A., Kuprel, B., Novoa, R. A., Ko, J. S., Swetter, S. M., Blau, H. M., & Thrun, S. (2017). Dermatologist-level classification of skin cancer with deep neural networks. *Nature*, 542(7639), 115-118. <https://doi.org/10.1038/nature21056>
- Feixas, J. (2022). Que son los COBOTS en la Industria 5.0. *Inforlot*.
<https://www.inforlot.com/que-son-cobots-industria-5-0/>
- Fernández, R. M. (2023, 23 febrero). Cifra de personas con trabajo a nivel mundial 2007-2024. Statista. <https://es.statista.com/estadisticas/977534/numero-mundial-de-personas-con-empleo/>
- Fleming, N. (2018). How artificial intelligence is changing drug discovery. *Nature*, 557(7707), S55-S57. <https://doi.org/10.1038/d41586-018-05267-x>

- Garcia Gil, K. (2021, 15 octubre). *La historia de los vehículos autónomos*. BBVA.CH.
<https://www.bbva.ch/noticia/la-historia-de-los-vehiculos-autonomos-como-han-evolucionado-desde-los-primeros-prototipos/>
- Guilleuma González, P. G. G. (2021). *Ética e Inteligencia Artificial*.
<http://hdl.handle.net/11531/46698>
- Gumbs, A. A., Frigerio, I., Spolverato, G., Croner, R. S., Illanes, A., Chouillard, E., & Elyan, E. (2021). Artificial Intelligence Surgery: How Do We Get to Autonomous Actions in Surgery? *Sensors*, 21(16), 5526. <https://doi.org/10.3390/s21165526>
- IFR International Federation of Robotics. (s. f.). *International Federation of Robotics*.
<https://ifr.org/free-downloads/>
- INE. (2020, 22 septiembre). *Instituto Nacional de Estadística*. ine.es.
https://www.ine.es/prensa/pp_2020_2070.pdf
- IONOS. (2020). ¿Qué son los sesgos cognitivos? *IONOS Digital Guide*.
<https://www.ionos.es/digitalguide/online-marketing/vender-en-internet/que-es-un-sesgo-cognitivo/>
- ISO(International Standards Organisation). (2012). ISO.
<http://www.iso.org/standard/55890.html>
- Klenert, D., Fernández-Macías, E., & Antón, J. M. M. (2022). Do robots really destroy jobs? Evidence from Europe. *Economic & Industrial Democracy*, 44(1), 280-316. <https://doi.org/10.1177/0143831x211068891>
- Korot, E., Guan, Z., Ferraz, D., Wagner, S. K., Zhang, G., Liu, X., Bachmann, L. M., Pontikos, N., Finlayson, S. R., Khalid, H., Moraes, G., Balaskas, K., Denniston, A. K., & Keane, P. A. (2021). Code-free deep learning for multi-modality medical image classification. *Nature Machine Intelligence*, 3(4), 288-298.
<https://doi.org/10.1038/s42256-021-00305-2>

- Lavrinc, D. (2012, 16 abril). Exclusive: Google Expands Its Autonomous Fleet With Hybrid Lexus RX450h. *WIRED*. <https://www.wired.com/2012/04/google-autonomous-lexus-rx450h/>
- Logistec. (2022, 5 mayo). *COBOTS: REVOLUCIONANDO EL FUTURO DE LAS OPERACIONES LOGÍSTICAS CON PRODUCTIVIDAD*.
<https://www.revistalogistec.com/inicio/noticias-clientes-logistec/4226-cobots-revolucionando-el-futuro-de-las-operaciones-logisticas-con-productividad>
- López, A. J. F. (2023). Inteligencia artificial para publicar e investigar. *Ciencia Sanitaria*.
<https://cienciasanitaria.es/inteligencia-artificial-para-publicar-e-investigar/>
- Magazzino, C., Mele, M., & Coccia, M. (2022). A machine learning algorithm to analyse the effects of vaccination on COVID-19 mortality. *Epidemiology and Infection*, 150. <https://doi.org/10.1017/s0950268822001418>
- Maliha, G., Gerke, S., Cohen, I., & Parikh, R. B. (2021). Artificial Intelligence and Liability in Medicine: Balancing Safety and Innovation. *Milbank Quarterly*, 99(3), 629-647. <https://doi.org/10.1111/1468-0009.12504>
- McCarthy, J. J., Minsky, M., Rochester, N., & Shannon, C. E. (2006). A Proposal for the Dartmouth Summer Research Project on Artificial Intelligence, August 31, 1955. *Ai Magazine*, 27(4), 12. <https://doi.org/10.1609/aimag.v27i4.1904>
- McKinsey. (2016). A future that works: automation, employment and productivity. *McKinsey*.
<https://www.mckinsey.com/~media/mckinsey/featured%20insights/Digital%20Disruption/Harnessing%20automation%20for%20a%20future%20that%20works/MGI-A-future-that-works-Executive-summary.ashx>
- McKinsey. (2018, 4 septiembre). *Notes from the AI frontier: Modeling the impact of AI on the world economy*. McKinsey & Company.

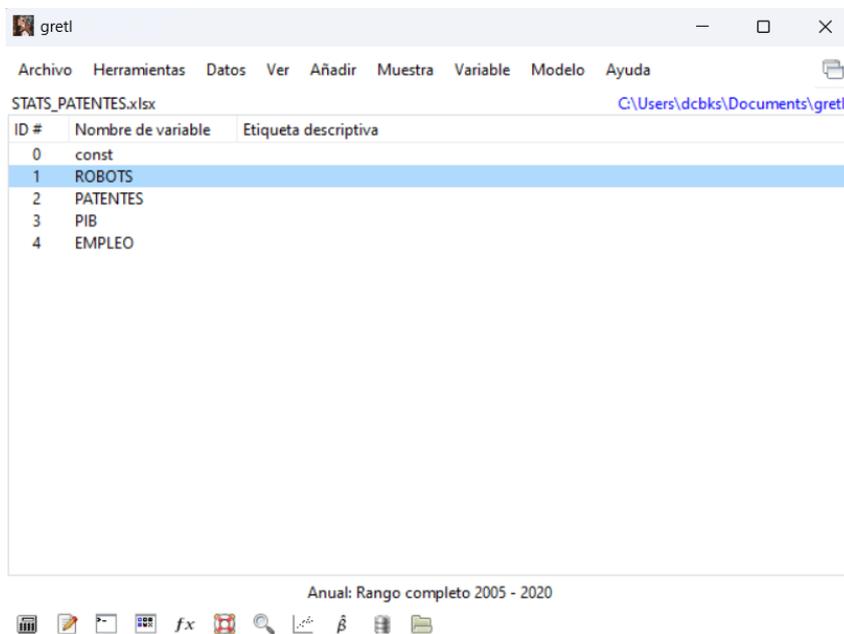
- <https://www.mckinsey.com/featured-insights/artificial-intelligence/notes-from-the-ai-frontier-modeling-the-impact-of-ai-on-the-world-economy#/>
- Merino, M. (2023). Qué fue de ELIZA, la tatarabuela de ChatGPT. . . a la que ahora se acusa (falsamente) de inducir un suicidio. *Genbeta*. <https://www.genbeta.com/a-fondo/que-fue-eliza-primer-chatbot-historia-a-quien-ahora-se-acusa-falsamente-inducir-suicidio>
- Mozafaripour, S. (2020). How AI Is Revolutionizing Healthcare. *University of St. Augustine for Health Sciences*. <https://www.usa.edu/blog/how-ai-is-revolutionizing-healthcare/>
- Muñoz Chasco, L. (2022). *Robots, empleo e impuestos: un análisis empírico con datos de panel*. <https://academica-e.unavarra.es/handle/2454/43260>
- Murugamani, C., Sahoo, S. K., Kshirsagar, P. R., Prathap, B. R., Islam, S., Naveed, Q. N., Hussain, M. M., Hung, B. T., & Teresa, D. M. (2022). Wireless Communication for Robotic Process Automation Using Machine Learning Technique. *Wireless Communications and Mobile Computing, 2022*, 1-12. <https://doi.org/10.1155/2022/4723138>
- National Eye Institute. (2022). *Retinopatía diabética | National Eye Institute*. [https://www.nei.nih.gov/espanol/aprenda-sobre-la-salud-ocular/enfermedades-y-afecciones-de-los-ojos/retinopatia-diabetica#:~:text=%C2%BFQu%C3%A9%20es%20la%20retinopat%C3%ADa%20diab%C3%A9tica,parte%20de%20atr%C3%A1s%20del%20ojo\).](https://www.nei.nih.gov/espanol/aprenda-sobre-la-salud-ocular/enfermedades-y-afecciones-de-los-ojos/retinopatia-diabetica#:~:text=%C2%BFQu%C3%A9%20es%20la%20retinopat%C3%ADa%20diab%C3%A9tica,parte%20de%20atr%C3%A1s%20del%20ojo).)
- Nexus Integra. (2021). Las 4 industrias que más se benefician del aprendizaje automático. *Nexus Integra*. <https://nexusintegra.io/es/las-4-industrias-que-mas-se-benefician-del-aprendizaje->

- Sánchez, C. (2015, 30 abril). Ernst Dickmanns, el desconocido padre alemán de los coches inteligentes. *elDiario.es*.
https://www.eldiario.es/hojaderouter/tecnologia/ernst-dickmanns-vehiculo-autonomo-inteligente_1_5858992.html#:~:text=Ernst%20Dickmanns%20logr%C3%B3%20dotar%20de,los%20procesadores%20de%20aquella%20%C3%A9poca.
- Sector de la Automoción en España.* (s. f.).
<https://www.investinspain.org/es/sectores/automocion-movilidad>
- Spotlab.* (2023, 27 abril). Spotlab. <https://www.spotlab.ai/>
- Staff, H. C. (2022). Logic Theorist Explained – Everything You Need To Know. *History-Computer*. <https://history-computer.com/logic-theorist/>
- Sundaram, S., & Zeid, A. (2023). Artificial Intelligence-Based Smart Quality Inspection for Manufacturing. *Micromachines*, *14*(3), 570.
<https://doi.org/10.3390/mi14030570>
- Surnar, B., Kamran, M. Z., Shah, A. K., & Dhar, S. (2020). Clinically Approved Antiviral Drug in an Orally Administrable Nanoparticle for COVID-19. *ACS pharmacology & translational science*, *3*(6), 1371-1380.
<https://doi.org/10.1021/acsptsci.0c00179>
- Ting, D. S. J., Cheung, C. Y., Lim, G., Tan, G., Quang, N. H., Gan, A. T. L., Hamzah, H., Garcia-Franco, R., Yeo, I. Y. S., Lee, S. Y., Wong, E., Sabanayagam, C., Baskaran, M., Ibrahim, F. A., Tan, N. C., Finkelstein, E. A., Lamoureux, E. L., Wong, I. C. K., Bressler, N. M., . . . Wong, T. Y. (2017). Development and Validation of a Deep Learning System for Diabetic Retinopathy and Related Eye Diseases Using Retinal Images From Multiethnic Populations With Diabetes. *JAMA*, *318*(22), 2211. <https://doi.org/10.1001/jama.2017.18152>

- Turing, A. (1950). *Computing Machinery and Intelligence*. <https://academia-lab.com/enciclopedia/computing-machinery-and-intelligence-alan-turing/>
- Waymo. (s. f.). *Waymo in the Community*. <https://waymo.com/intl/es/community/>
- Waymo. (2018, 17 mayo). On the road with self-driving car user number one - Waymo - Medium. *Medium*. <https://medium.com/waymo/scenes-from-the-street-5bb77046d7ce>
- World Bank Open Data*. (s. f.). World Bank Open Data. <https://datos.bancomundial.org/>
- Zugasti Paternain, A. (2019). *Incidencia de los robots sobre el PIB, el empleo y la desigualdad: un análisis empírico con datos de panel*. <https://academica-e.unavarra.es/xmlui/handle/2454/33713>

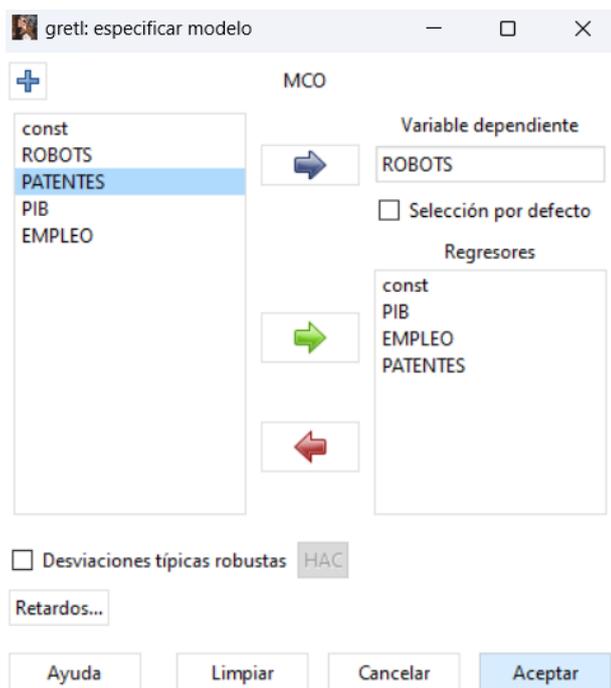
Anexos

Anexo I (Pantalla inicial Gretl)



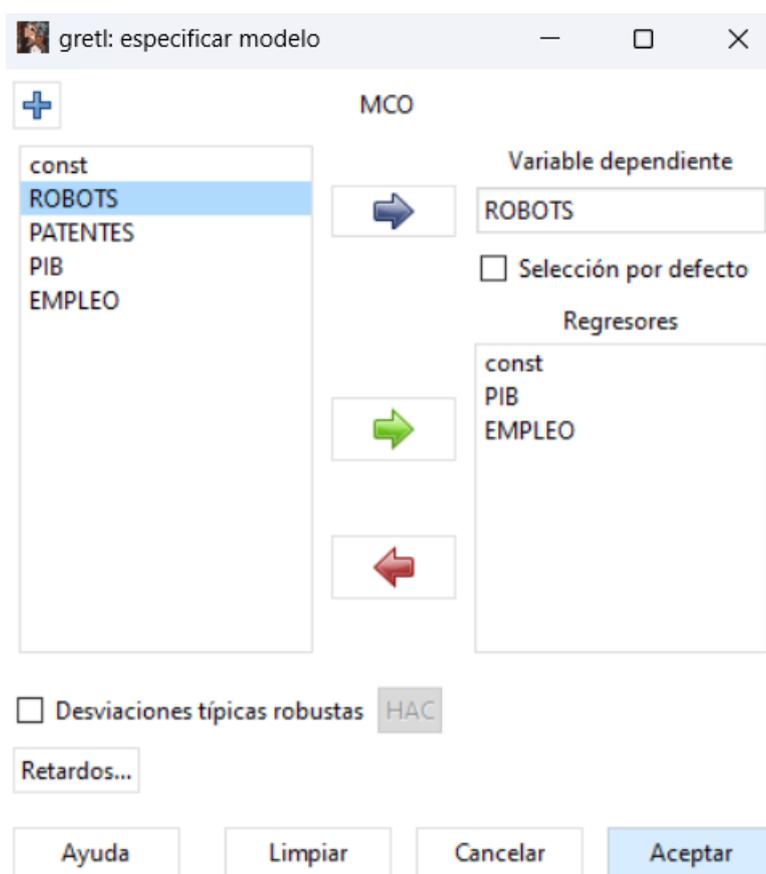
Fuente: Elaboración propia.

Anexo II (elaboración estimación MCO Modelo 1)



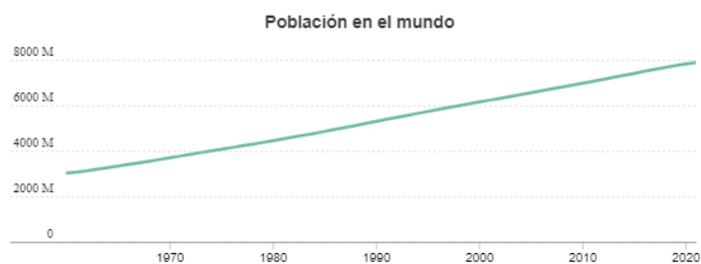
Fuente: Elaboración propia

Anexo III (elaboración estimación MCO Modelo 2)



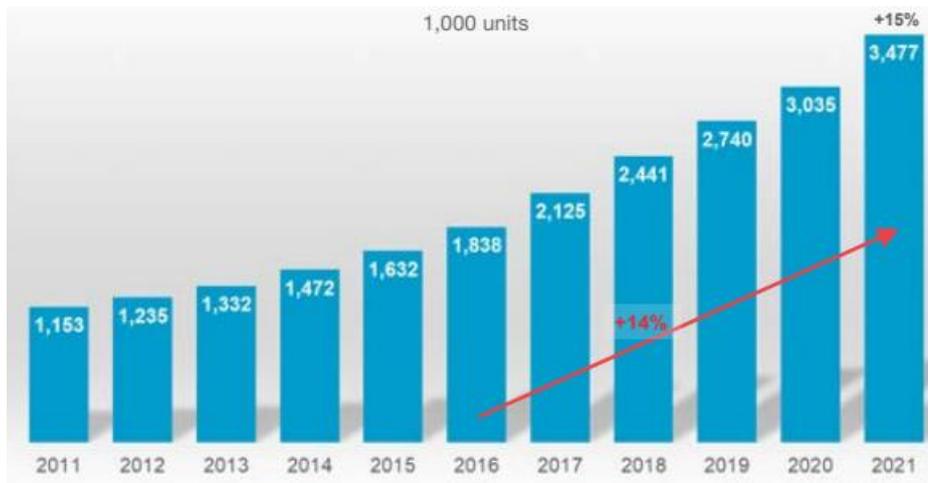
Fuente: Elaboración propia

Anexo IV (población en todo el mundo)



Fuente: Datos de datacatalog.es obtenidos a través de Data Commons (Datacommons, s. f.).

Anexo IV (número total de robots industriales por año)



Fuente: IFR. https://ifr.org/img/worldrobotics/Digitalsheet_A4_World_Robotics_2023_low.pdf