



Facultad de Ciencias Económicas y Empresariales

Optimización de la atención al paciente en el primer contacto con la automatización de pruebas diagnósticas y citas médicas

Autor: Jorge Magaña Morán
Director: Antonio Tena Blázquez

Índice de contenidos

Resumen	4
Abstract.....	5
1. Introducción.....	6
1.1 Relevancia del tema estudiado.....	6
1.2 Objetivos.....	9
1.3 Metodología y estructura	10
2. Inteligencia Artificial en el sistema sanitario	12
2.1 Estudio de casos: Implementación de la IA en la práctica sanitaria	12
2.2 Análisis de costes y beneficios de la IA en el sistema sanitario	17
2.3 Consideraciones éticas de la implementación de la IA en el sistema sanitario	19
2.4 Tendencias Futuras de la IA en el Sistema Sanitario	22
3. Implementación de un sistema de automatización de prescripción de pruebas diagnósticas y citas médicas basado en IA y PLN	28
3.1. Descripción del problema: Colapso sanitario en España.....	28
3.2 Implementación del sistema de recomendación	31
3.3 Funcionamiento del sistema de automatización de prescripción de pruebas diagnósticas y citas médicas	34
3.4 Beneficios del sistema de recomendación	40
4. Conclusiones.....	43
5. Declaración de uso de herramientas de Inteligencia artificial generativa en trabajos fin de grado	46
6. Bibliografía.....	47
7. Anexos	52

Índice de figuras

Figura 1: Población mayor de 65 años en España (%).	6
Fuente 2: Tiempos de espera para pacientes en lista para cirugía de reemplazo de cadera.	7
Figura 3: Valor del mercado actual y proyectado al 2030 para los sectores de tecnología médica seleccionados.	14
Figura 4: Algoritmos de machine learning empleados para el tratamiento de datos de salud.....	23
Figura 5: Publicación de artículos sobre aprendizaje profundo en el ámbito de la salud y enfermedades.	24
Figura 6: Uso de telemedicina por los habitantes de países miembros de la OCDE durante la pandemia COVID-19 (%).	26
Figura 7: Evolución mensual para los años 2019 y 2020 en el Hospital de Poniente. ...	29
Figura 8: Comparación de costes diarios: Costes actuales vs Costes del modelo propuesto.	39

Resumen

Este trabajo se centra en la optimización de la atención al paciente en el sistema sanitario español mediante la implementación de un sistema de automatización de diagnóstico y citas médicas basado en inteligencia artificial (IA) y procesamiento de lenguaje natural (PLN). La investigación aborda los desafíos actuales del sector sanitario, exacerbados por la pandemia de COVID-19, como el incremento en los tiempos de espera y la sobrecarga del personal sanitario. A través de una revisión exhaustiva de la literatura y el análisis de varios casos de estudio, se identifican las aplicaciones más prometedoras de IA y PLN en el sector sanitario, así como los beneficios y desafíos asociados con su implementación.

Se desarrolla una propuesta detallada que describe la arquitectura de un modelo basado en IA y PLN, destacando los componentes tecnológicos necesarios y el proceso de implementación. La propuesta incluye consideraciones éticas y de privacidad, esenciales para asegurar una adopción responsable y equitativa de estas tecnologías. Además, se realiza un análisis del impacto potencial de la propuesta en términos de eficiencia, calidad de la atención y optimización de recursos sanitarios. Finalmente, se concluye que la implementación de un modelo de automatización de diagnóstico y citas médicas basado en IA y PLN puede ofrecer numerosos beneficios al sistema sanitario español, mejorando la precisión diagnóstica, reduciendo los tiempos de espera y personalizando la atención al paciente.

Palabras clave: Inteligencia Artificial, Procesamiento de Lenguaje Natural, Sistema Sanitario, Automatización de Diagnóstico, Citas Médicas, Optimización de Recursos, Atención al Paciente.

Abstract

This study focuses on optimizing patient care in the Spanish healthcare system through the implementation of an automated diagnostic and appointment scheduling system based on artificial intelligence (AI) and natural language processing (NLP). The research addresses the current challenges of the healthcare system, exacerbated by the COVID-19 pandemic, such as increased waiting times and the overload of healthcare personnel. Through an exhaustive review of the literature and the analysis of several case studies, the most promising applications of AI and NLP in the healthcare sector are identified, along with the benefits and challenges associated with their implementation.

A detailed proposal is developed that describes the architecture of a system based on AI and NLP, highlighting the necessary technological components and the implementation process. The proposal includes ethical and privacy considerations essential to ensuring responsible and equitable adoption of these technologies. Additionally, an impact analysis of the proposal is conducted in terms of efficiency, quality of care, and optimization of healthcare resources. Finally, it is concluded that the implementation of an automated diagnostic and appointment scheduling system based on AI and NLP can offer numerous benefits to the Spanish healthcare system, improving diagnostic accuracy, reducing waiting times, and personalizing patient care.

Keywords: Artificial Intelligence, Natural Language Processing, Healthcare System, Automated Diagnostics, Appointment Scheduling, Resource Optimization, Patient Care.

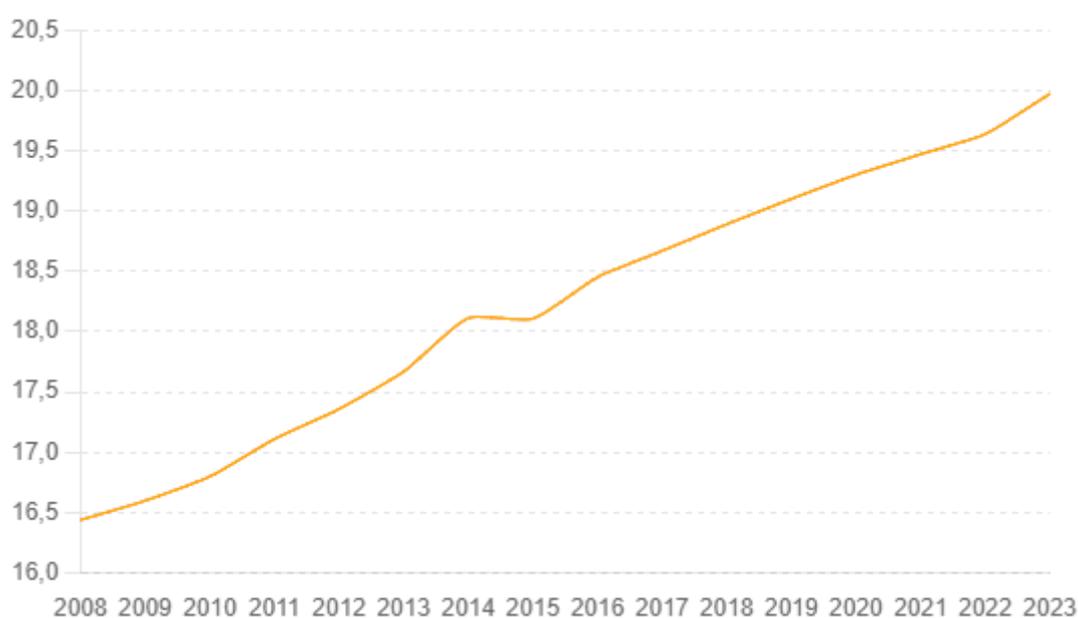
1. Introducción

1.1 Relevancia del tema estudiado

El sistema sanitario español ha sido históricamente uno de los más valorados en términos de accesibilidad y calidad. Sin embargo, en los últimos años, ha enfrentado desafíos significativos que han puesto a prueba su capacidad para atender a la población de manera eficiente y efectiva. La combinación de factores como el envejecimiento de la población, el aumento de enfermedades crónicas y la pandemia de COVID-19 han exacerbado estos desafíos, resaltando la necesidad de soluciones innovadoras que optimicen el uso de recursos sanitarios y mejoren la experiencia del paciente.

El envejecimiento de la población es un factor crítico en la creciente demanda de servicios sanitarios. Según el Instituto Nacional de Estadística (INE), la población mayor de 65 años en España representa aproximadamente el 20.15% del total, y se espera que esta cifra siga aumentando en las próximas décadas. Este cambio demográfico implica una mayor prevalencia de enfermedades crónicas que requieren atención médica constante y especializada, incrementando la presión sobre el sistema sanitario (INE, 2023).

Figura 1: Población mayor de 65 años en España (%).

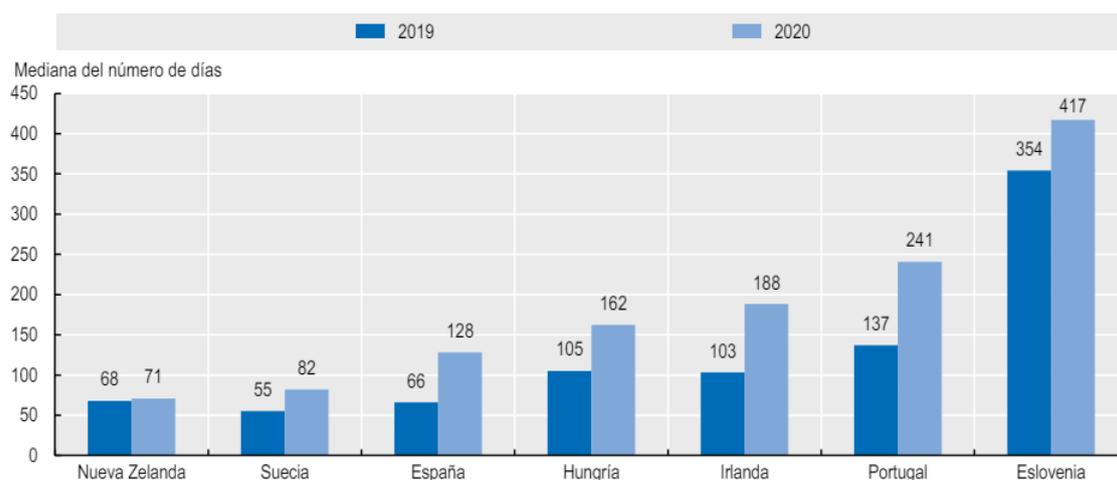


Elaboración propia basada en datos de INE (2023).

La pandemia de COVID-19 ha exacerbado aún más estos problemas. La necesidad de reorientar recursos para atender a los pacientes afectados por el virus ha provocado un incremento en las listas de espera y ha generado una sobrecarga significativa en el personal sanitario. Según un informe del Ministerio de Sanidad, los tiempos de espera para consultas y tratamientos se han prolongado notablemente durante la pandemia, afectando la calidad de la atención y el bienestar de los pacientes (Mattei & del Pino, 2021).

Durante la pandemia de COVID-19, los tiempos de espera para pacientes en lista para cirugía de reemplazo de cadera aumentaron significativamente en varios países. La Figura 2.17 de la OCDE (2021) muestra que, en comparación con 2019, los tiempos de espera medianos en días crecieron en todos los países analizados en 2020. Destacadamente, en España, el tiempo de espera para cirugía de reemplazo de cadera aumentó de 66 días en 2019 a 128 días en 2020, lo que representa un incremento del 94%, el mayor incremento porcentual entre los países analizados. Este aumento refleja el impacto significativo de la pandemia en los centros de salud, que tuvieron que reprogramar cirugías electivas para priorizar la atención a pacientes con COVID-19, provocando así mayores tiempos de espera para otras intervenciones quirúrgicas esenciales (OECD, 2021).

Fuente 2: Tiempos de espera para pacientes en lista para cirugía de reemplazo de cadera.



Fuente: Organisation for Economic Co-operation and Development (OECD). (2021).

Además de estos desafíos, la escasez de personal sanitario es un problema crítico. A pesar de que España invierte una parte significativa de su PIB en salud, los recursos disponibles no son suficientes para cubrir la creciente demanda. España se encuentra considerablemente por encima de la tasa media de médicos por habitante en Europa, con una media de 4,33 médicos por cada mil habitantes, frente a la media europea, situada en 3,6 médicos por cada mil habitantes. Sin embargo, en el caso de la enfermería, España ocupa el puesto 23 de 26 países. Lo mismo sucede con el número total de profesionales sanitarios, donde ocupa el puesto 28 de los 38 países que conforman la OCDE (Negrete, 2020). La sobrecarga de trabajo resultante lleva a un aumento del estrés y el agotamiento entre los profesionales de la salud, afectando negativamente la calidad de la atención.

La ineficiencia en los procesos burocráticos y procedimentales también contribuye a la sobrecarga del sector sanitario. El procedimiento actual para la derivación a especialistas implica múltiples visitas al médico de familia y la realización de diversas pruebas diagnósticas, lo que ralentiza el proceso y aumenta la carga tanto para los pacientes como para el sistema sanitario (Bernal-Delgado et al., 2018). Según la Sociedad Española de Medicina de Familia y Comunitaria (semFYC), los médicos de familia atienden en promedio a 48 pacientes diarios, lo que deja poco tiempo para una atención detallada y de calidad (semFYC, 2021).

Dada esta situación, es imperativo explorar soluciones innovadoras que puedan mejorar la eficiencia y efectividad. La inteligencia artificial (IA) y el procesamiento de lenguaje natural (PLN) ofrecen un potencial significativo para transformar la atención médica. Estas tecnologías pueden automatizar el proceso de diagnóstico inicial y la derivación a especialistas, reduciendo los tiempos de espera y optimizando el uso de recursos sanitarios. Este proyecto se centra en el desarrollo e implementación de un modelo de recomendación basado en IA y PLN para abordar los problemas críticos del sistema sanitario español, mejorando así la experiencia del paciente y aliviando la carga de trabajo.

1.2 Objetivos

El objetivo principal de este trabajo es explorar y proponer soluciones innovadoras para mejorar la eficiencia y efectividad del sistema sanitario español mediante el uso de inteligencia artificial (IA) y procesamiento de lenguaje natural (PLN). Para lograr este objetivo general, el proyecto se centra en tres objetivos específicos interrelacionados.

El primer objetivo es analizar las aplicaciones existentes de la inteligencia artificial en el sector sanitario. Este análisis implica una revisión exhaustiva de la literatura científica y técnica, así como el estudio de casos prácticos donde la IA y el PLN ya se han implementado con éxito. Se examinan diferentes aplicaciones, desde sistemas de apoyo a la decisión clínica y herramientas de diagnóstico automatizado hasta la gestión de recursos hospitalarios y la personalización de tratamientos. Este objetivo busca identificar las mejores prácticas y los beneficios concretos que estas tecnologías pueden aportar al ámbito sanitario, proporcionando una base sólida para el desarrollo de nuevas soluciones adaptadas al contexto español.

El segundo objetivo es describir la situación actual del sector sanitario español y los motivos de su colapso. Este análisis incluye la evaluación de factores como el envejecimiento de la población, el aumento de las enfermedades crónicas, la escasez de personal sanitario y las ineficiencias burocráticas. Además, se considera el impacto reciente de la pandemia de COVID-19, que ha exacerbado muchos de estos problemas, llevando a una sobrecarga significativa. Al proporcionar un diagnóstico claro y detallado de la situación actual, este objetivo permite entender los desafíos y cómo pueden ser abordados mediante soluciones tecnológicas innovadoras.

El tercer objetivo es proponer la implementación de un modelo de automatización de diagnóstico basado en IA y PLN. Esta propuesta se basa en los hallazgos de los dos objetivos anteriores y se centra en el diseño de un modelo que pueda mejorar la precisión diagnóstica, reducir los tiempos de espera y optimizar el uso de recursos sanitarios. La propuesta incluye una descripción detallada de la arquitectura del algoritmo, los componentes tecnológicos necesarios y los posibles beneficios y desafíos de su implementación. También se consideran aspectos éticos y de privacidad, asegurando que el sistema respete la confidencialidad de los datos de los pacientes y se implemente de manera justa y equitativa.

En resumen, los objetivos del proyecto son: analizar las aplicaciones existentes de la inteligencia artificial en el sector sanitario, describir la situación actual del sistema sanitario español y los motivos de su colapso, y proponer la implementación de un modelo de automatización de diagnóstico. Estos objetivos guían el desarrollo del trabajo, proporcionando una hoja de ruta clara para investigar, evaluar y proponer soluciones tecnológicas que puedan transformar la atención sanitaria en España.

1.3 Metodología y estructura

La metodología de este trabajo se fundamenta en un enfoque multidisciplinario que combina una revisión exhaustiva de la literatura, un análisis detallado de casos de estudio, y el desarrollo de una propuesta específica basada en los hallazgos obtenidos. Inicialmente, se realiza una revisión sistemática de la literatura existente sobre la implementación de inteligencia artificial (IA) y procesamiento de lenguaje natural (PLN) en el sector sanitario. Esta revisión incluye artículos académicos, informes de organismos de salud y estudios previos relevantes que exploran las aplicaciones, beneficios y desafíos de estas tecnologías en el ámbito de la atención médica.

A continuación, se lleva a cabo un análisis de varios casos de estudio donde se ha implementado IA y PLN en diferentes contextos sanitarios. Este análisis proporciona una comprensión profunda de las prácticas actuales, los resultados obtenidos y las lecciones aprendidas, permitiendo identificar factores críticos de éxito y posibles obstáculos. Los casos de estudio seleccionados reflejan una variedad de escenarios y enfoques, brindando una visión amplia y contextualizada de la aplicación de estas tecnologías.

Basado en los conocimientos adquiridos a través de la revisión de la literatura y el análisis de casos de estudio, se desarrolla una propuesta detallada para la implementación de un modelo de automatización de diagnóstico y citas médicas en el sistema sanitario español. Esta propuesta se estructura en torno a una arquitectura modular que incluye componentes esenciales como el reconocimiento de voz, el análisis de texto mediante PLN y la generación de recomendaciones basadas en IA. La propuesta también considera aspectos técnicos, operativos y éticos para asegurar una implementación efectiva y responsable.

La estructura del trabajo se organiza en varios capítulos que reflejan el proceso metodológico seguido. En la introducción, se presenta la relevancia del tema estudiado y se plantean los objetivos del proyecto. El capítulo siguiente está dedicado a la revisión de la literatura, donde se sintetiza el estado del arte en el uso de IA y PLN en la atención sanitaria. Posteriormente, se expone el análisis de casos de estudio, proporcionando ejemplos concretos y destacando las mejores prácticas observadas.

El núcleo del trabajo se centra en la propuesta de implementación, detallando la arquitectura del modelo y los pasos necesarios para su desarrollo y despliegue. Se abordan también las consideraciones éticas y de privacidad, esenciales para garantizar la protección de los datos de los pacientes y la equidad en el uso de estas tecnologías. Finalmente, se presentan las conclusiones, que resumen los hallazgos del trabajo y proponen recomendaciones para futuras investigaciones y aplicaciones.

Este enfoque metodológico y estructural permite una comprensión integral de los beneficios y desafíos asociados con la implementación de IA y PLN en el sector sanitario, proporcionando una base sólida para la propuesta de soluciones innovadoras que optimicen la atención al paciente en España.

2. Inteligencia Artificial en el sistema sanitario

2.1 Estudio de casos: Implementación de la IA en la práctica sanitaria

La implementación de la inteligencia artificial (IA) y el procesamiento de lenguaje natural (PLN) en el sector sanitario tiene el potencial de transformar significativamente la prestación de servicios de salud. Estas tecnologías pueden automatizar procesos, mejorar la precisión diagnóstica, optimizar el uso de recursos y personalizar la atención al paciente. A continuación, se detallan algunas de las principales soluciones de IA y PLN aplicadas en el ámbito sanitario y sus beneficios.

La automatización del proceso de diagnóstico es una de las aplicaciones más prometedoras de la IA en la sanidad. Utilizando modelos avanzados de aprendizaje automático y PLN, es posible analizar grandes volúmenes de datos clínicos, incluyendo historiales médicos, resultados de pruebas de laboratorio y notas de los médicos, para identificar patrones y hacer predicciones precisas sobre el estado de salud de los pacientes. Por ejemplo, en la Mayo Clinic, la implementación de un modelo de PLN ha permitido extraer información clínica valiosa de datos no estructurados, mejorando la toma de decisiones y la administración clínica (Wen et al., 2019). Este enfoque agiliza el proceso diagnóstico y reduce la carga de trabajo de los profesionales de la salud, permitiéndoles enfocarse en casos más complejos.

Otro campo crucial donde la IA y el PLN pueden hacer una diferencia significativa es la optimización de la gestión hospitalaria. Estas tecnologías pueden analizar datos operativos para optimizar la asignación de recursos, gestionar las camas hospitalarias y prever la demanda de servicios. Según Zhou et al. (2021), el PLN puede mejorar significativamente la gestión hospitalaria, la práctica clínica y el desarrollo de medicamentos (Zhou et al., 2021). La capacidad de prever la demanda permite a los hospitales prepararse mejor y evitar situaciones de sobrecarga, lo que es crucial en momentos de alta demanda como durante epidemias o brotes de enfermedades.

La personalización de la atención al paciente es otra área donde la IA y el PLN pueden tener un impacto significativo. Utilizando estas tecnologías, es posible ofrecer recomendaciones personalizadas de tratamiento y seguimiento, basadas en el análisis de datos individuales del paciente. Además, la IA puede facilitar la creación de chatbots y asistentes virtuales que proporcionen información y apoyo a los pacientes, mejorando su

experiencia y satisfacción con el sistema de salud (Wu et al., 2017). Estos asistentes virtuales pueden responder preguntas frecuentes, recordar a los pacientes sus citas o medicamentos, y proporcionar información sobre sus condiciones de salud, lo que mejora la adherencia al tratamiento y la gestión de la salud en general.

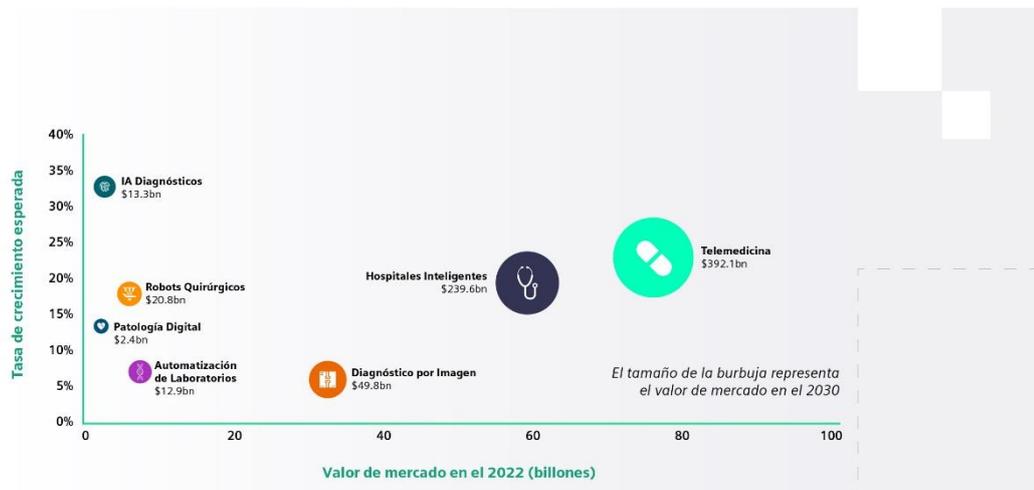
La implementación de soluciones basadas en IA puede reducir significativamente los errores médicos. La capacidad de estas soluciones para analizar grandes volúmenes de datos y proporcionar recomendaciones basadas en evidencia ayuda a los profesionales de la salud a tomar decisiones más informadas. Esto es especialmente importante en situaciones críticas donde los errores pueden tener consecuencias graves para la salud del paciente (Millen, 2019).

Además, la IA y el PLN también pueden utilizarse para el monitoreo continuo de pacientes y el análisis predictivo. Estas tecnologías permiten identificar cambios en la condición del paciente en tiempo real y prever posibles complicaciones antes de que ocurran, lo que permite una intervención temprana y mejora los resultados de salud. Por ejemplo, los sistemas de monitoreo basados en IA pueden alertar a los médicos sobre signos tempranos de deterioro en pacientes hospitalizados, permitiendo una respuesta rápida y adecuada (Minas & Triantafillou, 2020). Esto es particularmente útil en unidades de cuidados intensivos donde los cambios en la condición del paciente pueden ser rápidos y críticos.

Entre 2022 y 2030, se anticipa un continuo crecimiento en el valor de los mercados de tecnologías médicas. Las áreas con mayor crecimiento proyectado incluyen la IA en diagnósticos (con una tasa de crecimiento anual compuesta del 32.5%), la telemedicina (22.9%) y los hospitales inteligentes (19.3%). Por ejemplo, se espera que el mercado de telemedicina aumente su valor de los actuales 75.300 millones de dólares a 392.200 millones de dólares. De manera similar, se proyecta que el mercado de hospitales inteligentes crezca de 58.600 millones de dólares a 239.600 millones de dólares.

Independientemente de la tecnología y su crecimiento proyectado, cada sector enfrenta desafíos de inversión que requieren financiamiento inteligente del sector privado, ya sea para absorber el volumen de renovaciones y reemplazos, para aprovechar el rápido crecimiento de nuevas tecnologías, o para ambos (Hospitecnia, 2023).

Figura 3: Valor del mercado actual y proyectado al 2030 para los sectores de tecnología médica seleccionados.



Fuente: Hospitecnia. (2023).

A pesar de los numerosos beneficios, la implementación de IA y PLN en el sector sanitario también presenta desafíos significativos. Estos incluyen cuestiones relacionadas con la privacidad y seguridad de los datos, la necesidad de estándares y regulaciones claras, y la gestión de la confianza de los pacientes y profesionales de la salud en estas tecnologías. Es esencial abordar estas preocupaciones para garantizar una adopción ética y responsable de la IA en la sanidad (Lysaght et al., 2019). La confidencialidad de los datos de los pacientes es un tema crítico, y es necesario desarrollar tecnologías que puedan proteger estos datos de accesos no autorizados.

Un estudio en los Países Bajos examinó la implementación de aplicaciones de IA en radiología clínica. Los factores facilitadores más importantes fueron la presión para contener costes, las altas expectativas sobre el valor añadido de la IA, y la presencia de estrategias de innovación a nivel hospitalario. Sin embargo, se identificaron obstáculos como el desempeño técnico inconsistente de las aplicaciones de IA, procesos de implementación no estructurados y la variabilidad en la aceptación y confianza de los radiólogos y clínicos (Strohm et al., 2020). Este estudio subraya la necesidad de un enfoque estructurado y bien planificado para la implementación de IA, que incluya la capacitación adecuada y la gestión del cambio para asegurar la aceptación y el uso efectivo de las tecnologías de IA.

La implementación de IA para la detección de retinopatía diabética en zonas rurales de China mostró que la IA puede ser más rentable que los métodos tradicionales y mejorar significativamente la calidad de vida de los pacientes. Este estudio destacó la necesidad de un enfoque centrado en la privacidad y el diseño de infraestructura tecnológica para cumplir con las regulaciones legales (Li et al., 2023). Los resultados indicaron que, además de la rentabilidad, la IA puede proporcionar acceso a diagnósticos de alta calidad en áreas donde los recursos médicos son limitados, mejorando así la equidad en la atención sanitaria.

Un análisis exhaustivo identificó tres categorías de factores de éxito para la implementación de la IA: establecimiento de políticas, implementación tecnológica y medición del impacto médico y económico. Se recomienda un marco de políticas ajustado al riesgo, una infraestructura tecnológica centrada en la privacidad y la medición del impacto utilizando criterios como los años de vida ajustados por calidad (QALY) (Wolff et al., 2021). Este enfoque holístico asegura que todas las facetas de la implementación de IA, desde la regulación hasta la evaluación del impacto, sean abordadas de manera integral.

Un estudio exploratorio en Suecia abordó los desafíos y facilitadores en la implementación de la IA en la práctica sanitaria. Los facilitadores clave incluían la colaboración entre investigadores, profesionales de la salud y otros interesados, así como el desarrollo de un marco teórico para guiar la implementación de la IA. Los desafíos destacaron la necesidad de confianza, transparencia y soluciones explicables (Svedberg et al., 2021). La colaboración interdisciplinaria y la creación de marcos teóricos específicos para IA pueden facilitar una implementación más efectiva y aceptada.

La implementación de la IA en el cuidado de la salud mental presenta desafíos específicos relacionados con la disponibilidad y accesibilidad de los servicios. Un estudio destacó la importancia de considerar los marcos teóricos de la ciencia de la implementación para guiar la integración de la IA en el cuidado mental, abordando niveles organizacionales, individuales y técnicos (Nilsen et al., 2022). Los marcos teóricos pueden proporcionar una guía estructurada para la implementación, asegurando que se aborden todas las barreras potenciales y se maximicen los beneficios de la IA.

La implementación de IA para la detección de caries proximales mostró una mayor precisión en comparación con los métodos tradicionales y una mayor rentabilidad. Este estudio subraya la importancia de desarrollar modelos de IA que sean generalizables y clínicamente aplicables (Schwendicke et al., 2020). La capacidad de generalizar los modelos de IA es crucial para asegurar que puedan ser utilizados en diversos contextos clínicos y poblacionales, maximizando así su impacto positivo en la salud pública.

Un estudio desarrolló un marco de implementación para la traducción de la IA en la práctica sanitaria, identificando factores como la dependencia de los datos, la toma de decisiones compartida y la supervisión humana como críticos para la implementación exitosa. Estos hallazgos resaltan la necesidad de abordar las necesidades únicas de la implementación de IA en el sector sanitario (Gama et al., 2021). La dependencia de datos precisos y de alta calidad, así como la inclusión de profesionales de la salud en el proceso de toma de decisiones, son esenciales para asegurar que las recomendaciones de la IA sean precisas y confiables.

En resumen, la implementación de la IA en el sistema sanitario presenta una variedad de casos de éxito y desafíos que ilustran la complejidad y el potencial de estas tecnologías. Desde la radiología clínica en los Países Bajos hasta la detección de enfermedades en China rural, estos estudios de caso destacan la importancia de un enfoque estructurado y colaborativo, la necesidad de marcos teóricos específicos y la consideración de factores técnicos y éticos. La integración efectiva de la IA en la atención sanitaria puede mejorar significativamente la precisión diagnóstica, la eficiencia operativa y la calidad de la atención al paciente, siempre y cuando se aborden adecuadamente los desafíos identificados.

Este apartado contribuye a la consecución del primer objetivo del trabajo al proporcionar un análisis exhaustivo de la situación actual del sistema sanitario español, identificando áreas donde la inteligencia artificial (IA) puede ofrecer soluciones efectivas. Este análisis, que incluye el estudio de casos prácticos, permite comprender cómo la IA y el procesamiento de lenguaje natural (PLN) pueden mejorar la gestión de recursos, reducir tiempos de espera y optimizar la atención sanitaria. Además, en los próximos apartados de este segundo capítulo, se abordan consideraciones éticas, costes y beneficios, y tendencias futuras, proporcionando una visión completa y detallada del estado de la cuestión.

2.2 Análisis de costes y beneficios de la IA en el sistema sanitario

La implementación de la inteligencia artificial (IA) en el sistema sanitario implica una evaluación exhaustiva de su coste-efectividad. A continuación, se presenta un análisis detallado de los costes y beneficios asociados con la IA en la atención médica, basado en estudios recientes.

La IA tiene el potencial de mejorar la eficiencia clínica al reducir el tiempo de trabajo y optimizar el recorrido del paciente en el sistema sanitario. En una revisión exhaustiva de la literatura, se encontró que la mayoría de los estudios demostraron la rentabilidad de la IA en comparación con las prácticas basadas en humanos. En particular, un estudio de Joao et al. (2023) mostró que el 77.4% de los estudios incluidos concluyeron que la IA puede mejorar la eficiencia clínica al reducir el tiempo de trabajo o el trayecto del paciente en la clínica (Jiao et al., 2023). Este aumento en la eficiencia reduce el tiempo que los pacientes pasan esperando atención y permite a los profesionales de la salud dedicar más tiempo a casos complejos y a tareas que requieren su experiencia clínica, mejorando así la calidad general de la atención.

La optimización de recursos sanitarios es otro beneficio significativo de la IA. Al proporcionar diagnósticos y tratamientos más precisos, la IA reduce la necesidad de pruebas adicionales y tratamientos incorrectos. Por ejemplo, un estudio sobre la detección de oclusiones vasculares en accidentes cerebrovasculares agudos demostró que el uso de IA resultó en ahorros de costes significativos y en una mejora en los años de vida ajustados por calidad (QALYs) (van Leeuwen et al., 2021). Este estudio subraya cómo la precisión diagnóstica de la IA puede conducir a intervenciones más rápidas y efectivas, evitando complicaciones costosas y mejorando los resultados para los pacientes.

Además de la reducción de costes, la IA también mejora la calidad de la atención al permitir diagnósticos más rápidos y precisos. Un estudio sobre la detección de retinopatía diabética en China rural mostró que la IA era más rentable que los métodos tradicionales y mejoró significativamente la calidad de vida de los pacientes con diabetes (Li et al., 2023). La capacidad de la IA para analizar grandes volúmenes de datos y detectar anomalías con mayor rapidez que los métodos convencionales puede llevar a intervenciones más tempranas y efectivas, reduciendo el riesgo de complicaciones graves y mejorando la calidad de vida de los pacientes.

El retorno de inversión en tecnologías de IA es otra consideración crucial. La adopción de tecnologías de IA puede resultar en un alto retorno de inversión debido a la reducción de errores médicos, la mejora en la precisión de los diagnósticos y la optimización de los tratamientos. Un análisis de coste-efectividad de la detección de caries proximales con IA concluyó que la IA era más precisa que los dentistas, y además más rentable, ya que detectaba lesiones que de otro modo podrían haberse pasado por alto (Schwendicke et al., 2021). Este estudio demuestra que la inversión en tecnologías de IA puede ser recuperada rápidamente gracias a la reducción de errores y la mejora en la detección temprana de problemas de salud.

Aunque la implementación inicial de IA puede ser costosa, los beneficios a largo plazo en términos de reducción de costes operativos y mejora de los resultados de salud son significativos. Sin embargo, es crucial llevar a cabo estudios prospectivos de salud económica para evaluar plenamente el impacto a largo plazo de la IA en la atención médica (Rossi et al., 2021). Estos estudios prospectivos pueden ayudar a los responsables de políticas y a las instituciones sanitarias a comprender mejor los beneficios financieros y clínicos de la IA, facilitando decisiones informadas sobre la inversión en estas tecnologías.

La sostenibilidad a largo plazo de las soluciones de IA también es un factor importante a considerar. La implementación de IA requiere una inversión inicial significativa en tecnología e infraestructura y en capacitación continua para los profesionales de la salud y en el mantenimiento y actualización de los sistemas. Es esencial asegurar que los sistemas de IA puedan adaptarse y evolucionar con el tiempo, incorporando nuevos datos y avances en la tecnología para mantener su relevancia y efectividad.

Además, la IA puede desempeñar un papel crucial en la gestión de recursos humanos en el sector sanitario. Al automatizar tareas rutinarias y administrativas, la IA permite que los profesionales de la salud se concentren en actividades más complejas y centradas en el paciente. Esto mejora la eficiencia del personal, y además puede reducir el agotamiento y mejorar la satisfacción laboral entre los profesionales de la salud, lo que a su vez puede llevar a una mejor atención al paciente y a una reducción de los costes asociados con la rotación de personal.

La adopción de IA también puede facilitar la investigación y el desarrollo en el sector sanitario. La capacidad de analizar grandes volúmenes de datos clínicos de manera rápida y precisa puede acelerar el descubrimiento de nuevos tratamientos y terapias, mejorar la personalización de los cuidados y optimizar los ensayos clínicos. Esto puede llevar a mejores resultados de salud, al mismo tiempo que permite reducir los costes asociados con el desarrollo de nuevos medicamentos y tratamientos.

En términos de impacto en la política sanitaria, la implementación de IA puede contribuir a la formulación de políticas más informadas y basadas en datos. Los modelos de IA pueden proporcionar análisis detallados y en tiempo real de las tendencias de salud pública, permitiendo a los responsables de políticas tomar decisiones más efectivas y oportunas. Esto puede mejorar la asignación de recursos, la planificación de emergencias sanitarias y la gestión de crisis, como pandemias o brotes de enfermedades.

En resumen, la implementación de IA en el sector sanitario presenta una serie de beneficios económicos y clínicos significativos. La mejora en la precisión diagnóstica, la optimización de recursos, la reducción de errores médicos y el alto retorno de inversión son algunos de los beneficios más destacados. Sin embargo, para maximizar estos beneficios, es esencial llevar a cabo evaluaciones económicas exhaustivas y estudios prospectivos que consideren tanto los costes iniciales como los beneficios a largo plazo. Con una implementación cuidadosa y bien planificada, la IA tiene el potencial de transformar la atención médica, mejorando tanto la eficiencia como la calidad de los cuidados, y proporcionando un valor significativo para los sistemas sanitarios y sus pacientes.

2.3 Consideraciones éticas de la implementación de la IA en el sistema sanitario

La integración de inteligencia artificial (IA) en la atención sanitaria presenta numerosos desafíos éticos que deben ser abordados para asegurar su implementación responsable y equitativa. A continuación, se describen las principales consideraciones éticas asociadas con el uso de IA en la atención médica.

La privacidad de los datos de los pacientes es una de las principales preocupaciones éticas en la implementación de la IA. La recolección, almacenamiento y análisis de grandes

volúmenes de datos de salud requieren medidas robustas de seguridad para proteger la confidencialidad y prevenir el acceso no autorizado. Estrategias como la encriptación homomórfica y la computación multipartita segura son esenciales para mantener la privacidad de los datos (Jeyaraman et al., 2023). Estas medidas aseguran que los datos sensibles de los pacientes no sean vulnerables a ciberataques o accesos indebidos, protegiendo así la información personal y la confianza de los pacientes.

La transparencia y la explicabilidad de los algoritmos de IA son cruciales para generar confianza entre los pacientes y los profesionales de la salud. La IA explicable (XAI) se centra en desarrollar modelos que permitan entender cómo se generan las predicciones y decisiones, lo que es vital en escenarios de alto riesgo como la medicina (Lysaght et al., 2019). La capacidad de explicar las decisiones de la IA de manera comprensible es fundamental para que los médicos puedan validar y confiar en las recomendaciones de los sistemas automatizados, así como para que los pacientes entiendan y acepten estas recomendaciones.

Los algoritmos de IA pueden perpetuar sesgos presentes en los datos de entrenamiento, lo que puede resultar en decisiones injustas o discriminatorias. Es fundamental implementar mecanismos para identificar y mitigar estos sesgos, asegurando que la IA promueva la equidad en la atención sanitaria y no exacerbe las disparidades existentes (Blasimme & Vayena, 2019). La identificación y corrección de sesgos es un proceso continuo que requiere la supervisión constante de los algoritmos y la actualización de los datos utilizados para entrenarlos.

Determinar la responsabilidad en los resultados derivados de la IA plantea importantes preguntas éticas. Los debates sobre la agencia moral de la IA y la responsabilidad humana son centrales para establecer marcos de rendición de cuentas claros y justos (Naik et al., 2022). Es necesario definir claramente quién es responsable de las decisiones y acciones tomadas por sistemas de IA, especialmente en casos donde los resultados puedan ser adversos para los pacientes.

El consentimiento informado es un principio ético fundamental en la atención sanitaria, y su aplicación en el contexto de la IA es compleja. Los pacientes deben ser informados de manera comprensible sobre cómo se utilizarán sus datos y las implicaciones de las decisiones automatizadas (Bhogawar et al., 2023). La obtención de un consentimiento

verdaderamente informado implica explicar los beneficios, riesgos y limitaciones de la IA de manera clara y accesible, asegurando que los pacientes tengan la capacidad de tomar decisiones informadas sobre su atención.

La implementación de IA en la atención sanitaria debe respetar la autonomía del paciente, permitiendo que los individuos tomen decisiones informadas sobre su tratamiento. Esto incluye el derecho a rechazar el uso de IA en su atención médica (Pasricha, 2022). La autonomía del paciente es un pilar fundamental en la ética médica, y cualquier implementación de IA debe garantizar que los pacientes mantengan el control sobre sus decisiones de salud.

La distribución equitativa de los beneficios de la IA es esencial para evitar que aumenten las desigualdades en salud. La implementación de IA debe ser accesible a todas las poblaciones, independientemente de su situación socioeconómica o geográfica (Amedior, 2023). Es crucial que las tecnologías de IA no se concentren solo en áreas urbanas o en poblaciones de mayor poder adquisitivo, sino que también lleguen a comunidades rurales y desfavorecidas.

La calidad de los datos utilizados en los sistemas de IA es crucial para garantizar resultados precisos y seguros. Los datos deben ser de alta calidad y representativos para evitar sesgos y errores en las predicciones y decisiones (Kooli & Al Muftah, 2022). La recolección y curación de datos de alta calidad es un proceso esencial que afecta directamente la eficacia y confiabilidad de los algoritmos de IA.

Es necesario desarrollar marcos regulatorios específicos para la IA en salud que aborden las preocupaciones éticas y aseguren el uso responsable de estas tecnologías. Estos marcos deben ser flexibles para adaptarse a los rápidos avances tecnológicos y proteger los derechos de los pacientes (Morley et al., 2020). Los marcos regulatorios deben establecer estándares claros y precisos para el desarrollo, implementación y monitoreo de sistemas de IA en el sector sanitario, asegurando la seguridad y bienestar de los pacientes.

En conclusión, la implementación de la IA en el sector sanitario requiere una consideración ética cuidadosa para asegurar que se utilice de manera responsable y equitativa. Abordar cuestiones de privacidad, transparencia, equidad, responsabilidad, consentimiento informado, autonomía del paciente, impacto en los profesionales de la

salud, distribución justa de los recursos, calidad de los datos y marcos regulatorios es fundamental para lograr una integración exitosa y beneficiosa de la IA en la atención médica. La atención a estos principios éticos protege a los pacientes y profesionales y promueve la confianza y aceptación de la IA en el sector sanitario.

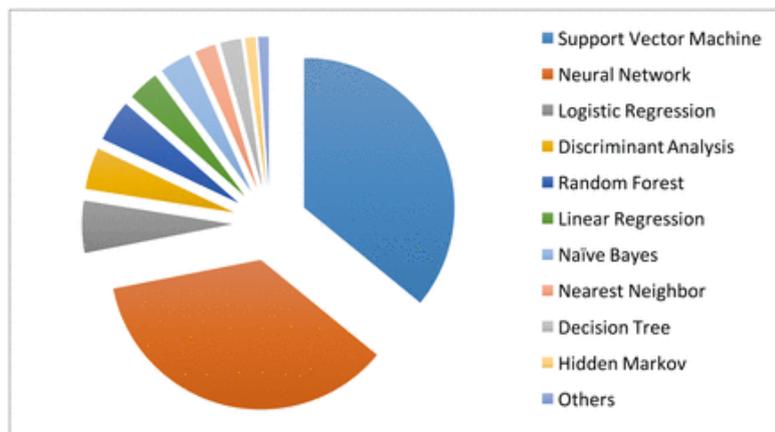
2.4 Tendencias Futuras de la IA en el Sistema Sanitario

La inteligencia artificial (IA) ha avanzado significativamente en los últimos años y se prevé que continúe transformando el sector sanitario. A continuación, se presentan las principales tendencias futuras en el uso de la IA en el cuidado de la salud, basadas en estudios y análisis recientes.

La IA está revolucionando el diagnóstico y tratamiento personalizado a través de la integración de datos multi-ómicos, clínicos y de comportamiento. Los algoritmos de aprendizaje automático analizan grandes volúmenes de datos de pacientes para desarrollar planes de tratamiento personalizados y predecir resultados de salud con alta precisión (Wang & Preininger, 2019). Esta capacidad de personalizar los tratamientos mejora la eficacia de los cuidados y minimiza los efectos secundarios al adaptar las terapias a las características individuales de cada paciente.

Además, la IA está mejorando la detección temprana de enfermedades mediante el análisis de imágenes médicas y datos clínicos. Tecnologías como el aprendizaje profundo están siendo utilizadas para detectar cáncer, enfermedades neurológicas y cardíacas en sus primeras etapas, mejorando así los resultados del tratamiento (Jiang et al., 2017). La detección temprana es crucial para el éxito del tratamiento, y la IA está demostrando ser una herramienta invaluable para identificar signos de enfermedades antes de que se desarrollen síntomas evidentes. En este estudio se analizan los principales algoritmos de *machine learning* utilizados para el tratamiento de datos de salud.

Figura 4: Algoritmos de *machine learning* empleados para el tratamiento de datos de salud.

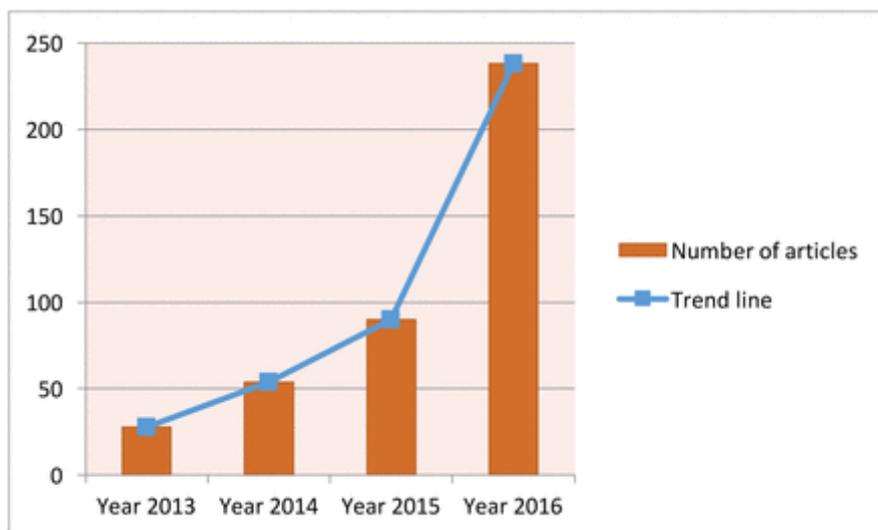


Fuente: Jiang et al. (2023)

La gráfica circular ilustra la distribución de los algoritmos de aprendizaje automático empleados en la literatura médica, según una búsqueda en PubMed. El algoritmo más utilizado es el *Support Vector Machine* (SVM), seguido de las redes neuronales y la regresión logística, que también tienen una presencia significativa. Otros algoritmos como el análisis discriminante, el *Random Forest* y la regresión lineal se utilizan con frecuencia, aunque en menor medida. Algoritmos como *Naïve Bayes*, *Nearest Neighbor*, árboles de decisión y modelos de Markov ocultos son menos comunes, pero aún relevantes. La categoría "Otros" abarca algoritmos utilizados con menor frecuencia en la investigación médica. Estos datos destacan la variedad de enfoques en el uso del aprendizaje automático en el ámbito de la salud, subrayando la necesidad de elegir el algoritmo adecuado según el contexto específico del estudio.

Este mismo artículo destaca el incremento en la publicación de artículos sobre aprendizaje profundo en el ámbito de la salud y enfermedades (Jiang et al., 2023)

Figura 5: Publicación de artículos sobre aprendizaje profundo en el ámbito de la salud y enfermedades.



Fuente: Jiang et al. (2023)

La gráfica muestra la tendencia actual de artículos sobre aprendizaje profundo en el ámbito de la salud y enfermedades, basada en datos obtenidos de búsquedas en PubMed. Desde 2013 hasta 2016, el número de artículos ha aumentado de manera exponencial. En 2013, se publicaron menos de 50 artículos, mientras que en 2016, la cifra superó los 200. La línea de tendencia destaca un crecimiento continuo y acelerado en el interés y la investigación sobre el aprendizaje profundo en el sector de la salud. Este incremento refleja el creciente reconocimiento del potencial del aprendizaje profundo para abordar diversos desafíos en la medicina y mejorar el diagnóstico, tratamiento y comprensión de las enfermedades.

Los asistentes virtuales y la monitorización remota de pacientes están transformando la atención sanitaria al proporcionar asistencia en tiempo real y reducir la necesidad de visitas presenciales. Estas tecnologías permiten un seguimiento continuo de los pacientes y la intervención temprana en caso de detección de anomalías (Minas & Triantafyllou, 2020). Los asistentes virtuales pueden responder preguntas, recordar a los pacientes que tomen sus medicamentos y alertar a los médicos sobre cambios significativos en la salud del paciente, mejorando así la gestión de enfermedades crónicas y el bienestar general.

La IA también está siendo utilizada para prevenir enfermedades de manera proactiva mediante el uso de análisis predictivos. Al identificar a las personas con mayor riesgo de desarrollar ciertas condiciones, se pueden implementar medidas preventivas personalizadas para evitar la progresión de la enfermedad (Harry, 2023). Este enfoque preventivo mejora la salud de los individuos y reduce los costes sanitarios al evitar la necesidad de tratamientos más costosos en etapas avanzadas de la enfermedad.

En términos de eficiencia operativa, la IA está ayudando a optimizar las operaciones hospitalarias al automatizar tareas administrativas y reducir errores. La integración de *chatbots* y asistentes virtuales está mejorando la experiencia del paciente al proporcionar respuestas rápidas a sus consultas y gestionar citas médicas de manera eficiente (Denecke & Gabarron, 2021). Estos sistemas pueden manejar una amplia gama de tareas administrativas, liberando tiempo para que los profesionales de la salud se concentren en la atención directa al paciente.

Con la creciente adopción de la IA en el cuidado de la salud, surgen preocupaciones éticas sobre la transparencia y la equidad de los algoritmos. Es esencial desarrollar marcos éticos y regulaciones que aseguren el uso responsable y justo de la IA en la atención sanitaria (Lysaght et al., 2019). Estos marcos deben abordar cuestiones como la privacidad de los datos, la equidad en el acceso a las tecnologías de IA y la responsabilidad por las decisiones tomadas por los algoritmos.

La integración de datos multimodales es una tendencia emergente que permite a la IA analizar y correlacionar diferentes tipos de datos (genómicos, clínicos, ambientales) para proporcionar una visión más completa del estado de salud del paciente. Esto mejora la precisión diagnóstica y el desarrollo de tratamientos personalizados (Radakovich & Nazha, 2021). La capacidad de integrar y analizar múltiples fuentes de datos permite a los médicos obtener una comprensión más profunda y holística de la salud de sus pacientes.

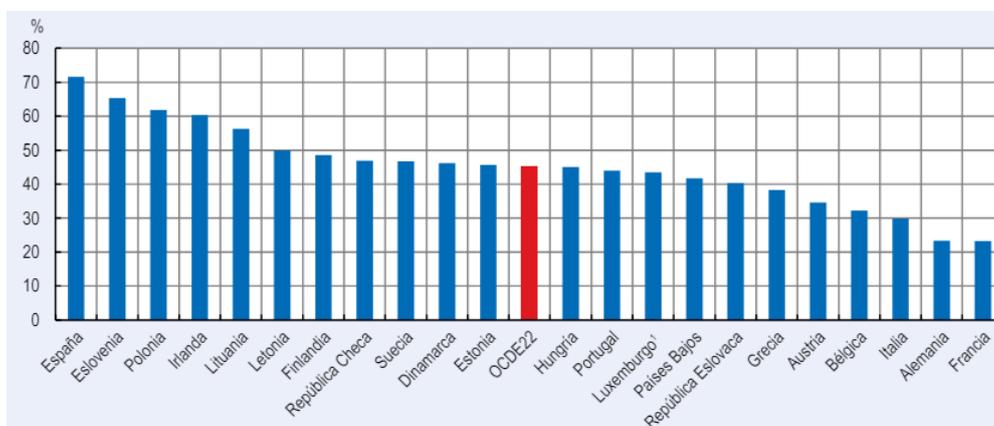
La IA también está acelerando la investigación biomédica al analizar grandes conjuntos de datos para descubrir nuevas correlaciones y desarrollar terapias innovadoras. La capacidad de la IA para procesar grandes volúmenes de datos está permitiendo avances significativos en la investigación y el desarrollo de medicamentos (Noorbakhsh-Sabet et

al., 2019). Esto acelera el proceso de descubrimiento de nuevos tratamientos, sino que y mejora la precisión y eficacia de los ensayos clínicos.

La telemedicina y la cirugía asistida por IA están ganando popularidad, permitiendo a los médicos realizar consultas y procedimientos a distancia con alta precisión. Estas tecnologías están mejorando el acceso a la atención médica y reduciendo las barreras geográficas (Jeyaraj & Narayanan, 2023). La telemedicina permite a los pacientes recibir atención especializada sin necesidad de viajar largas distancias, mientras que la cirugía asistida por IA puede mejorar la precisión y seguridad de los procedimientos quirúrgicos.

Según los datos de Eurofound (2020) sobre el uso de servicios de telemedicina durante la pandemia de COVID-19, España lidera la estadística de consultas médicas realizadas por teléfono o en línea entre los 22 países europeos de la OCDE analizados. Cerca del 70% de los adultos en España reportaron haber utilizado estos servicios, superando significativamente la media del 45% reportada en el estudio. Este uso intensivo de la telemedicina en España puede atribuirse a la rápida adopción de tecnologías de salud digital en respuesta a la pandemia, facilitando el acceso a consultas médicas a pesar de las restricciones sanitarias. Otros países como Finlandia y Hungría también mostraron altos porcentajes de uso, destacando una tendencia generalizada hacia la telemedicina en Europa durante este período crítico (Eurofound, 2020).

Figura 6: Uso de telemedicina por los habitantes de países miembros de la OCDE durante la pandemia COVID-19 (%).



Fuente: Organisation for Economic Co-operation and Development (OECD). (2021).

Finalmente, la IA está desempeñando un papel crucial en la mejora de la salud mental mediante el análisis de patrones de comportamiento y la provisión de intervenciones personalizadas. Esto permite una detección temprana y un tratamiento más efectivo de los trastornos mentales (Puaschunder, 2020). La IA puede analizar datos de diversas fuentes, como registros médicos electrónicos y aplicaciones de salud mental, para identificar signos de trastornos mentales y recomendar intervenciones personalizadas, mejorando así el bienestar mental de los pacientes.

En conclusión, la inteligencia artificial está posicionada para seguir transformando el sector sanitario en múltiples frentes, desde la personalización del tratamiento y la detección temprana de enfermedades hasta la mejora de la eficiencia operativa y la salud mental. Sin embargo, para maximizar estos beneficios, es crucial abordar los desafíos éticos y asegurar que las tecnologías de IA sean implementadas de manera responsable y equitativa.

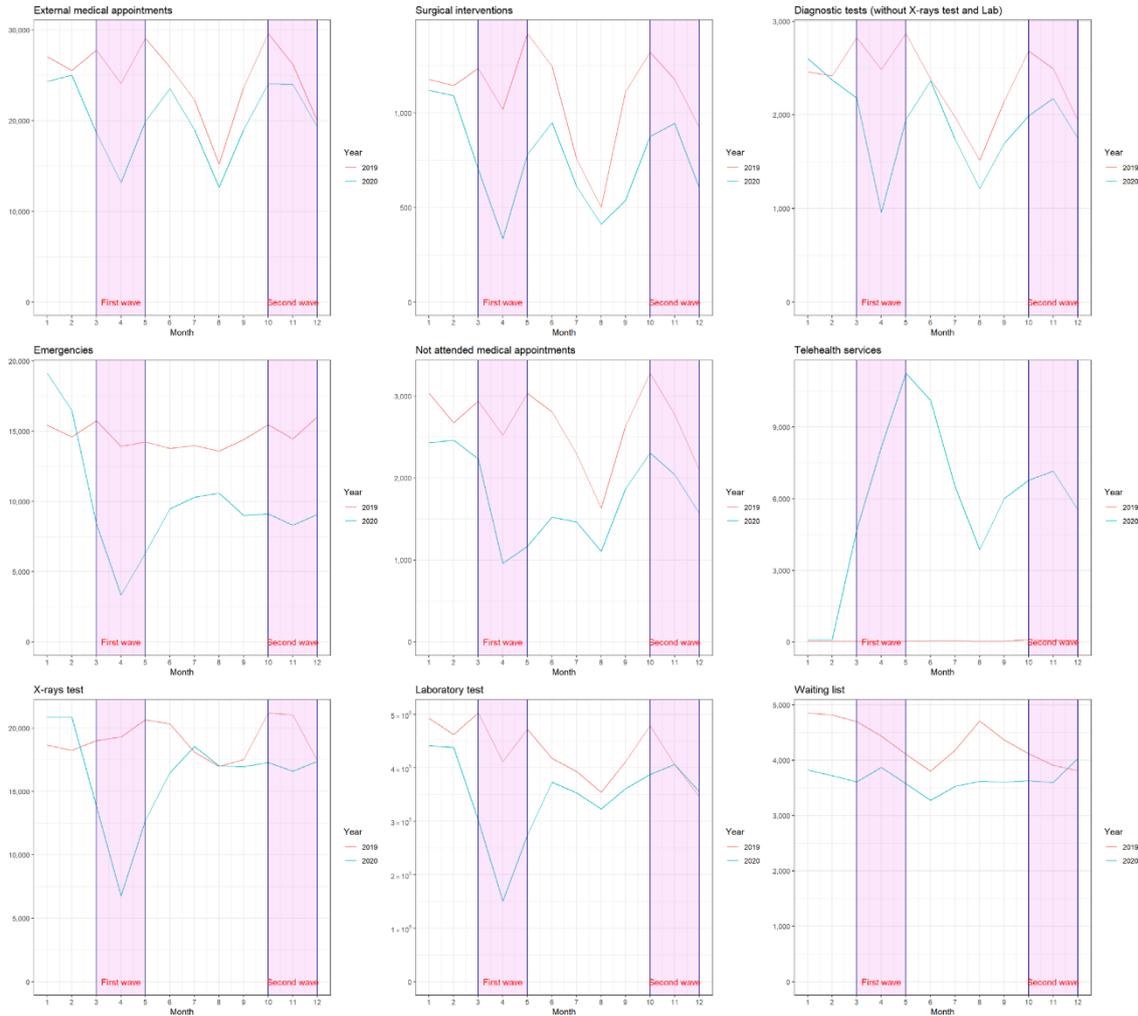
3. Implementación de un sistema de automatización de prescripción de pruebas diagnósticas y citas médicas basado en IA y PLN

3.1. Descripción del problema: Colapso sanitario en España

El sistema sanitario español ha sido históricamente reconocido por su accesibilidad y calidad. Sin embargo, en los últimos años, diversos factores han contribuido a su colapso, afectando negativamente tanto a los pacientes como a los profesionales de la salud. Entre las causas más significativas destaca el envejecimiento de la población, como se observa en la *Figura 1*. Según el Instituto Nacional de Estadística (INE), la población mayor de 65 años en España representa aproximadamente el 20.15% del total y se espera que esta cifra continúe aumentando en las próximas décadas (INE, 2023). Este envejecimiento demográfico conlleva una mayor prevalencia de enfermedades crónicas que requieren atención médica constante y especializada, incrementando la presión sobre el sistema sanitario.

Además del envejecimiento de la población, la pandemia de COVID-19 ha exacerbado significativamente los problemas existente. La necesidad de reorientar recursos para atender a los pacientes afectados por el virus ha provocado un incremento en las listas de espera y una sobrecarga considerable en el personal sanitario. Un estudio realizado por López-Villegas et al. (2022) en hospitales regionales de Andalucía muestra un aumento significativo en los costes de servicios de emergencia y cuidados intensivos durante el año 2020 en comparación con 2019, a pesar de una reducción en el número de pacientes tratados en estas áreas. Además, los profesionales de la salud han experimentado altos niveles de estrés, ansiedad y depresión debido a las condiciones de trabajo durante la pandemia (López-Villegas et al., 2022).

Figura 7: Evolución mensual para los años 2019 y 2020 en el Hospital de Poniente.



Fuente: López-Villegas et al. (2022)

La gráfica muestra la evolución mensual de diversos servicios médicos en el Hospital de Poniente durante 2019 y 2020, revelando el impacto de la pandemia de COVID-19, especialmente durante las primeras y segundas olas. En 2020, se observa una significativa disminución en las citas médicas externas, intervenciones quirúrgicas y pruebas diagnósticas durante las olas de la pandemia en comparación con 2019. Las visitas de emergencia también disminuyeron durante la primera ola, aunque se mantuvieron más estables durante la segunda. Las citas médicas no atendidas aumentaron en 2020 durante las olas de COVID-19. Por otro lado, los servicios de telemedicina mostraron un notable incremento, especialmente durante la primera ola. Las radiografías y pruebas de laboratorio disminuyeron considerablemente durante las olas de la pandemia, con una recuperación parcial posterior. Finalmente, las listas de espera aumentaron en 2020,

reflejando las dificultades en la programación y realización de servicios médicos debido a la pandemia (López-Villegas et al., 2022).

Un estudio de Sobregrau Sangrà et al. (2021) revela que la sobrecarga de trabajo está asociada con la aparición de síntomas psicológicos entre los trabajadores de la salud, destacando la necesidad de proporcionar apoyo psicológico para reducir el impacto emocional de la pandemia (Sobregrau Sangrà et al., 2021).

Esta situación se ve agravada por la ineficiencia en los procesos burocráticos y procedimentales, que también contribuye a la sobrecarga del sistema sanitario. El procedimiento actual para la derivación a especialistas implica múltiples visitas al médico de familia y la realización de diversas pruebas diagnósticas, lo que ralentiza el proceso y aumenta la carga tanto para los pacientes como para el sector. Bernal-Delgado et al. (2018) señalan que los médicos de familia en España atienden en promedio a 48 pacientes diarios, lo que deja poco tiempo para una atención detallada y de calidad (Bernal-Delgado et al., 2018).

Asimismo, la recesión económica que comenzó en 2007 y las consecuentes medidas de austeridad han tenido un impacto significativo en el sistema sanitario español. Un estudio de Borra et al. (2019) muestra que la reducción de personal médico y camas hospitalarias ha resultado en un aumento significativo de las tasas de mortalidad por enfermedades circulatorias y causas externas (Borra et al., 2019). Las políticas de austeridad también han llevado a una disminución en la accesibilidad a los servicios de salud, afectando especialmente a los inmigrantes y otros grupos vulnerables. Un estudio de la Universidad de Alicante destaca cómo las medidas de austeridad han afectado negativamente la calidad de la atención sanitaria y los resultados en salud (Cervero-Liceras et al., 2015).

La pandemia también ha impulsado un aumento significativo en el uso de teleconsultas. Un estudio de López-Villegas et al. (2022) muestra que, aunque hubo una reducción en el número de pacientes atendidos en servicios de emergencia y hospitalizaciones, las teleconsultas aumentaron significativamente, lo que sugiere un cambio hacia la atención médica remota como respuesta a la crisis (López-Villegas et al., 2022).

En conclusión, el colapso del sistema sanitario español es el resultado de una combinación de factores complejos, que incluyen el envejecimiento de la población, la pandemia de

COVID-19, la escasez de personal sanitario, la ineficiencia burocrática, las medidas de austeridad, la sobrecarga de información, el impacto de la obesidad, las desigualdades en el uso de recursos sanitarios y la falta de inversión en investigación. Para abordar estos problemas, es esencial implementar políticas integrales y sostenibles que optimicen el uso de recursos y mejoren la calidad de la atención sanitaria en España. Además, es crucial fortalecer la coordinación entre las diferentes administraciones y fomentar la equidad en la financiación sanitaria para garantizar que todos los ciudadanos tengan acceso a una atención de calidad.

El presente apartado contribuye a la consecución del segundo objetivo del trabajo, que consiste en describir la situación actual del sector sanitario español y los motivos de su colapso. Este análisis abarca la evaluación de factores críticos como el envejecimiento de la población, el aumento de enfermedades crónicas, la escasez de personal sanitario y las ineficiencias burocráticas. Además, se analiza el impacto reciente de la pandemia de COVID-19, que ha exacerbado muchos de estos problemas, llevando a una sobrecarga significativa del sistema sanitario.

3.2 Implementación del sistema de recomendación

Actualmente, los pacientes acuden al centro de salud para una primera consulta, donde el médico de familia realiza una evaluación inicial. Dependiendo de los síntomas y el historial clínico del paciente, este puede ser derivado a un médico especialista o se le pueden prescribir pruebas diagnósticas adicionales. Este proceso implica múltiples visitas y puede resultar en largos tiempos de espera, tanto para la consulta inicial como para las derivaciones y pruebas subsiguientes, lo que genera una sobrecarga tanto para los pacientes como para el sistema sanitario.

Para optimizar este proceso y reducir los tiempos de espera, se propone un sistema de inteligencia artificial (IA) y procesamiento de lenguaje natural (PLN). Este sistema permitiría que, mediante una llamada telefónica, la inteligencia artificial interactúe directamente con el paciente. Durante la llamada, la IA formularía una serie de preguntas para obtener información detallada sobre los síntomas y antecedentes médicos del paciente.

Una vez recopilada la información, el sistema de IA utilizaría técnicas de PLN para analizar y entender los datos proporcionados. Con base en este análisis, la IA podría recomendar las pruebas diagnósticas necesarias y agendar citas con los profesionales de salud adecuados. Esto agiliza el proceso de diagnóstico y derivación, además de reducir la necesidad de múltiples visitas al centro de salud, mejorando significativamente la eficiencia del sistema sanitario y la experiencia del paciente.

La implementación de un sistema de recomendación basado en inteligencia artificial (IA) y procesamiento de lenguaje natural (PLN) en el sector sanitario español puede revolucionar la manera en que se gestionan los diagnósticos y las derivaciones a especialistas. Este modelo se estructura mediante una arquitectura modular que incluye varios componentes esenciales. El módulo de reconocimiento de voz es fundamental para convertir el habla de los pacientes en texto. Utilizando sistemas avanzados de reconocimiento de voz, se podrá capturar información verbal de los pacientes de manera precisa y eficiente. Este módulo facilita la recolección de datos clínicos directamente de las interacciones con los pacientes, permitiendo el tratamiento de dichos datos para la futura integración con otros sistemas electrónicos de salud.

Una vez que la información verbal se ha convertido en texto, el módulo de análisis de texto utiliza técnicas de PLN para analizar y extraer información relevante. Este análisis incluye la identificación de síntomas y otros datos clínicos importantes. La capacidad de procesar y comprender texto no estructurado permitirá al sistema extraer información valiosa que puede no ser fácilmente accesible a través de métodos tradicionales.

El módulo de generación de recomendaciones utiliza modelos de aprendizaje profundo para generar recomendaciones de pruebas diagnósticas y derivación a especialistas basadas en los datos analizados. Los algoritmos de aprendizaje automático ayudan a identificar patrones y correlaciones que pueden no ser evidentes a simple vista. Este módulo es clave para proporcionar recomendaciones precisas y personalizadas, mejorando así la calidad de la atención médica. Una base de datos médica centralizada contiene todos los protocolos, guías clínicas y datos históricos necesarios para que el modelo funcione de manera efectiva. Esta base de datos debe ser actualizada regularmente para reflejar los últimos avances médicos y clínicos. La actualización constante asegurará que el sistema utilice la información más reciente y relevante para la toma de decisiones.

El desarrollo y la integración de modelos son pasos críticos para asegurar un correcto funcionamiento. Los modelos de IA deben ser entrenados utilizando conjuntos de datos clínicos que contengan ejemplos históricos de diagnósticos y tratamientos. Este proceso de entrenamiento garantiza que los modelos puedan hacer predicciones precisas y fiables. El uso de datos históricos permite a los modelos aprender de casos anteriores y mejorar continuamente su precisión. Antes de su implementación, los modelos tienen que ser rigurosamente validados utilizando datos de prueba para asegurar su precisión. Esta etapa también incluye pruebas piloto en entornos controlados para evaluar la funcionalidad del sistema en situaciones reales. La validación y las pruebas piloto son esenciales para identificar y corregir posibles errores antes de que sea utilizado a gran escala.

La implementación inicial del modelo será llevada a cabo en un número limitado de centros médicos seleccionados. Este despliegue inicial permitirá recopilar *feedback* de los profesionales sanitarios y realizar ajustes necesarios antes de una implementación a gran escala. La elección de diversos entornos ayudará a asegurar que sea efectivo en diferentes contextos. Un componente crucial del éxito de la implementación es la capacitación del personal. Se desarrollará un programa de capacitación integral para el personal sanitario, que incluirá sesiones de formación, tutoriales y manuales de usuario. La capacitación cubrirá tanto aspectos técnicos del uso del sistema como consideraciones éticas y de privacidad. La formación adecuada garantizará que el personal pueda utilizar la nueva solución de manera efectiva y con confianza.

Para asegurar el éxito a largo plazo, se definen indicadores de éxito, tales como la reducción de tiempos de espera, la precisión de los diagnósticos y la satisfacción del paciente. Estos indicadores ayudarán a evaluar el impacto y a identificar áreas de mejora. La evaluación constante permitirá realizar ajustes y mejoras continuas. Un sistema de monitoreo continuo evaluará el rendimiento y permitirá realizar ajustes en tiempo real según sea necesario. Este monitoreo también incluirá la recopilación de datos post-implementación para medir el impacto en la eficiencia y calidad de la atención sanitaria. El monitoreo continuo es esencial para identificar problemas a medida que surgen y asegurar que el sistema se mantenga efectivo.

Basado en el éxito de la implementación piloto, el sistema se expandirá gradualmente a otros centros médicos y regiones. Esta expansión gradual se realizará en fases para asegurar una transición suave y efectiva. La expansión gradual permitirá abordar

cualquier problema que surja durante las primeras fases antes de extender el sistema a nivel nacional. A medida que se establezca, se explorarán aplicaciones futuras de la IA y el PLN en otras áreas de la atención sanitaria, como la predicción de enfermedades y la optimización de la gestión hospitalaria. Estas futuras aplicaciones pueden incluir el desarrollo de sistemas de IA más avanzados para la personalización de tratamientos y la mejora de la atención al paciente. La capacidad de evolucionar y adaptarse a nuevas necesidades y tecnologías asegurará que siga siendo relevante y efectivo en el futuro.

En resumen, la implementación de un sistema de recomendación basado en IA y PLN en el sistema sanitario español puede ofrecer numerosos beneficios, incluyendo la mejora de la precisión diagnóstica, la optimización de la gestión hospitalaria y la personalización de la atención al paciente. Sin embargo, es crucial llevar a cabo este proceso de manera cuidadosa y considerada, asegurando que se aborden todas las preocupaciones éticas y de seguridad. Con una implementación adecuada, este sistema tiene el potencial de transformar la atención sanitaria en España, mejorando tanto la eficiencia como la calidad del cuidado de los pacientes.

3.3 Funcionamiento del sistema de automatización de prescripción de pruebas diagnósticas y citas médicas

El sistema de prescripción de pruebas diagnósticas y automatización de citas basado en inteligencia artificial (IA) y procesamiento de lenguaje natural (PLN) ofrece una solución innovadora para la gestión de la atención médica. Este sistema optimiza la interacción entre pacientes y servicios de salud desde el primer contacto hasta la asignación de pruebas diagnósticas y la programación de citas con especialistas. La interacción inicial con el paciente no será realizada por el personal sanitario, sino que será llevada a cabo por una inteligencia artificial. Esta inteligencia artificial formulará una serie de preguntas para la obtención de los datos necesarios para el correcto funcionamiento. A continuación, se detalla el funcionamiento del modelo utilizando un ejemplo de dos llamadas grabadas y los datos proporcionados, explicando el proceso que siguen los datos desde que el usuario habla hasta que recibe la respuesta, incluyendo los costes asociados. Para la realización del ejemplo, se han escogido casos del departamento de traumatología.

Actualmente, el proceso de asignación de citas sigue un proceso sencillo, que supone la utilización de recursos costosos y da pie al error humano. En el caso de las llamadas telefónicas, el personal sanitario debe preguntar al paciente sobre la zona del cuerpo en la que sufre molestias, si ha recibido algún trauma, y si se ha realizado alguna prueba diagnóstica derivada a raíz de ese dolor. En base a las respuestas, se consulta una base de datos que contiene información sobre las pruebas diagnósticas que se deben realizar en función del motivo de la consulta (Anexo 1: Pruebas diagnósticas servicio traumatología). Una vez seleccionada la prueba diagnóstica manualmente, el sanitario debe consultar manualmente los especialistas disponibles para cada día y hora, y gestionar una cita.

A continuación, se detalla el funcionamiento del modelo propuesto. El primer paso es la conversión de la voz del paciente a texto utilizando un sistema de reconocimiento de voz, como Google Speech-to-Text o Microsoft Azure Cognitive Services. Este proceso es crucial para capturar con precisión toda la información proporcionada por el paciente durante la llamada. La precisión en esta etapa asegura que todos los síntomas y datos clínicos relevantes sean registrados correctamente para su tratamiento.

Una vez que la voz ha sido convertida a texto, el siguiente paso es el análisis del contenido textual mediante el modelo GPT-3.5 Turbo de OpenAI. Este modelo de IA realiza un análisis semántico del texto para identificar síntomas, antecedentes médicos y las necesidades del paciente. Utilizando técnicas avanzadas de procesamiento de lenguaje natural, el modelo puede comprender el contexto y la gravedad de los síntomas descritos.

Con la información obtenida del análisis del texto, el modelo consulta una base de datos médica que contiene información sobre síntomas, posibles diagnósticos y pruebas diagnósticas recomendadas. Esta base de datos debe estar actualizada con los últimos protocolos y guías clínicas para asegurar que las recomendaciones sean precisas y basadas en la evidencia.

El modelo GPT-3.5 Turbo genera una recomendación sobre la prueba diagnóstica necesaria y el especialista adecuado. Esta recomendación se convierte a texto y luego a audio utilizando un sistema de síntesis de voz, como Google Text-to-Speech o Amazon Polly. El algoritmo de recomendación consulta el calendario de los especialistas y proporciona las opciones disponibles al paciente, que selecciona la opción que mejor se ajuste a sus necesidades. Este proceso garantiza que el paciente reciba la recomendación

de manera clara y comprensible en formato de audio, proporcionando una experiencia de interacción fluida.

Para ilustrar el funcionamiento del modelo, consideremos nuevamente la llamada proporcionada a modo de ejemplo. El sistema recibe la llamada, la convierte a texto utilizando un sistema de reconocimiento de voz, y analiza el texto con el modelo GPT-3.5 Turbo. El modelo identifica los síntomas y antecedentes médicos, consulta la base de datos médica, y genera una recomendación sobre la prueba diagnóstica necesaria. Finalmente, esta recomendación se convierte a audio y se comunica al paciente.

Para la realización de ambos ejemplos, se utiliza la transcripción de dos llamadas tipo realizadas a un hospital por motivos de traumatología. Se han eliminado los datos de la llamada que hacen referencia a la prueba diagnosticada, con el fin de comparar la prueba recomendada por la inteligencia artificial con la cita realizada por el personal sanitario.

Un factor importante es el entrenamiento de los modelos. En los casos de ejemplo, se adjunta la transcripción de la llamada y la base de datos que contiene las pruebas diagnósticas, en formato Excel, y se solicita que recomiende la prueba adecuada. Es importante recordar que los modelos que serán empleados, al contrario que en el ejemplo, serán entrenados con casos anteriores y bases de datos que serán actualizadas constantemente, por lo que los resultados serán cada vez más precisos. Además, en el caso de las llamadas, la tecnología permitirá realizar la asignación de pruebas diagnósticas y citas con especialistas en tiempo real, sin necesidad de intervención humana.

En el primer ejemplo, el personal sanitario del Hospital Fundación Jiménez Díaz contactó a una paciente para obtener información sobre su motivo de consulta y su historial médico, y para programar las pruebas diagnósticas necesarias antes de su cita. La paciente describió dolores generalizados en los huesos, especialmente en las cervicales y la zona lumbar, así como mareos y un historial de cáncer en el hombro, lo que resultó en una placa metálica. El personal pregunta acerca del historial médico del paciente, y dado que tiene un implante metálico, decide no realizar una resonancia magnética, pero mantiene la decisión de realizar una radiografía y la cita con el especialista (Anexo 2: Llamada anonimizada B).

Se transcribe la llamada, se eliminan los datos proporcionados por el personal acerca de las pruebas diagnósticas, y se comprueba la recomendación del sistema aún no entrenado.

En este primer caso, el médico de familia ya había recomendado la realización de ciertas pruebas diagnósticas, pero se realiza la llamada para verificar si se deben hacer, por lo que se mantiene en la transcripción lo diagnosticado por el médico de familia, y se elimina el veredicto del empleado que realiza la llamada (Anexo 3: Transcripción adaptada B).

El modelo realizó un proceso sistemático para determinar las pruebas diagnósticas adecuadas para la paciente. Primero, analizó la transcripción de la llamada para comprender los motivos de consulta y el historial médico de la paciente, que incluye dolor en las cervicales y zona lumbar, antecedentes de cáncer en el hombro con una placa metálica, y síntomas como mareos y dolores intensos. Luego, revisó el archivo Excel que contiene las recomendaciones de pruebas diagnósticas en función de diversos motivos de consulta relacionados con problemas cervicales y lumbares. Con base en esta información, decidió que las pruebas más adecuadas son la radiografía de columna cervical y lumbar, y la resonancia magnética de columna cervical y lumbar, sin contraste. Es crucial considerar la presencia de la placa metálica en el brazo de la paciente durante la resonancia magnética para evitar interferencias, por lo que se deben informar estos detalles al equipo médico para tomar las precauciones necesarias. Finalmente, recomendó agendar estas pruebas y coordinar una cita con un especialista en osteoarticular para una evaluación integral post-diagnóstico (Anexo 4: Respuesta modelo B).

Revisando la llamada original y el análisis realizado por el modelo, se puede observar que en ambas situaciones se llega a la misma conclusión. Se debe realizar la radiografía, y se debe consultar con el médico especialista la posibilidad de realizar la resonancia magnética, teniendo en cuenta el implante metálico del paciente.

En el segundo caso, la llamada entre el hospital y el paciente se centra en la consulta de traumatología del paciente programada para el 27 de abril. La persona del hospital, desde el servicio de traumatología de la Fundación Jiménez Díaz, solicita información sobre el motivo de la consulta. El paciente explica que ha sufrido dolor en la cadera desde la infancia debido a problemas de escoliosis y una cadera más alta que la otra, y que últimamente el dolor ha empeorado, lo que llevó a su médico de cabecera a derivarla al traumatólogo para una radiografía.

El paciente aclara que aún no se le ha realizado ninguna radiografía. La persona del hospital menciona que es necesario seguir el protocolo del hospital, que incluye realizar

una radiografía de la pelvis AP y oblicua antes de la consulta. El paciente será derivado directamente a un especialista en cadera después de esta radiografía (Anexo 5: Llamada anonimizada A).

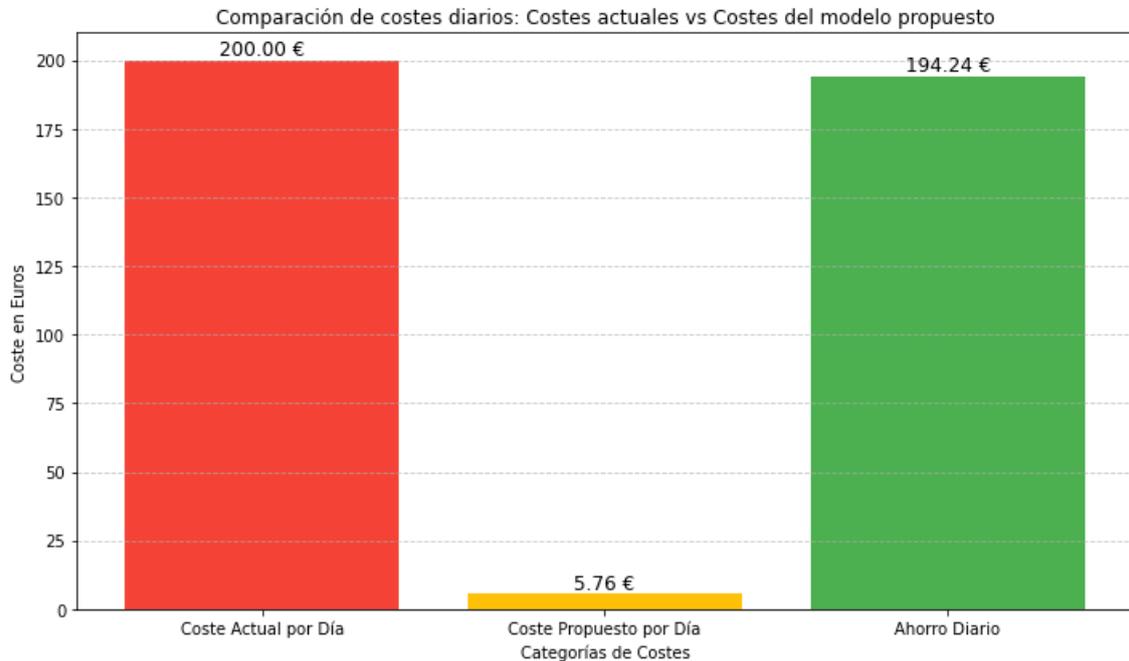
A continuación, se realiza el mismo procedimiento que con el ejemplo anterior. Se eliminan de la transcripción los datos referentes a la prueba diagnóstica recomendada por el personal, y se pide al modelo que realice su recomendación basándose en la base de datos (Anexo 6: Transcripción adaptada A).

Tras analizar la transcripción de la llamada, el modelo recomienda realizar una radiografía de la pelvis AP y oblicua, del mismo modo que lo hizo la persona que realizó la llamada. De esta manera, igual que en el primer ejemplo, se puede ver como el sistema, aún no entrenado, es capaz de automatizar la asignación de pruebas diagnósticas, lo que reduce los gastos de personal y el error humano, entre otras cosas (Anexo 7: Respuesta del modelo A).

Esta recomendación se basa en los datos disponibles y en la necesidad del paciente de obtener una evaluación precisa de sus problemas de cadera, los cuales incluyen dolor crónico y escoliosis. La radiografía de la pelvis AP y oblicua proporciona imágenes detalladas que son esenciales para un diagnóstico adecuado, lo cual coincide con el protocolo establecido por el hospital.

El coste de procesamiento en términos de tokens y recursos se puede estimar con base en los componentes utilizados. El sistema de Google Speech-to-Text tiene un coste basado en la duración del audio procesado. Para una llamada de 5 minutos, el coste podría ser de unos pocos céntimos de euro por minuto. El uso del modelo GPT-3.5 Turbo se mide en tokens procesados. Para una conversación de cinco minutos, se podrían generar aproximadamente entre mil y dos mil tokens de texto, con un coste estimado de un céntimo de euro. El sistema de Google Text-to-Speech también tiene un coste por carácter procesado, con un coste total estimado de procesar una llamada de cinco minutos de cinco céntimos de euro. Es decir, el modelo propuesto tiene un coste de alrededor de setenta y dos céntimos de euro por hora de uso, mientras que el coste medio de un call center ronda los veinticinco euros por hora de uso.

Figura 8: Comparación de costes diarios: Costes actuales vs Costes del modelo propuesto.



Elaboración propia basada en datos de Google Cloud. (2024); Odondo. (2023); OpenAI. (2024)

El gráfico presentado compara el coste diario actual de un centro de llamadas con el coste diario propuesto tras la implementación de un sistema de inteligencia artificial (IA) y procesamiento de lenguaje natural (PLN). Los colores rojo, amarillo y verde representan el coste actual por día, el coste del modelo propuesto por día y los ahorros diarios, respectivamente. El coste actual por día se basa en una tarifa promedio de 25 euros por hora, mientras que el coste del modelo propuesto se reduce a 0,72 euros por hora. Al calcular estos costes para una jornada laboral de 8 horas, el gráfico muestra claramente que la implementación del sistema propuesto podría resultar en significativos ahorros diarios, destacando la eficiencia y la rentabilidad de la solución innovadora.

Los archivos adjuntos, como las llamadas grabadas y el archivo de pruebas diagnósticas, son esenciales para la estandarización y validación. Estos archivos proporcionan datos reales y ejemplos concretos que permiten ajustar y perfeccionar los algoritmos utilizados. Durante el desarrollo y las pruebas del sistema, estos archivos ayudan a validar la precisión del reconocimiento de voz, mejorar el análisis semántico y optimizar las

recomendaciones, asegurando que las pruebas diagnósticas y derivaciones recomendadas sean precisas y apropiadas según los protocolos médicos.

En resumen, el sistema de diagnóstico y automatización de citas utiliza IA y PLN para procesar de manera eficiente las llamadas de los pacientes, generar recomendaciones de pruebas diagnósticas precisas y automatizar la programación de citas. Este proceso mejora la eficiencia del sector sanitario, y además proporciona una experiencia más fluida y satisfactoria para los pacientes. La integración y el uso de datos reales de los archivos proporcionados aseguran que el modelo esté bien ajustado y validado para su implementación en entornos clínicos reales.

Este apartado detalla el funcionamiento del modelo de automatización de diagnóstico basado en IA y PLN, contribuyendo así a la consecución del tercer objetivo del proyecto. Este objetivo consiste en proponer un modelo que pueda mejorar la precisión diagnóstica, reducir tiempos de espera y optimizar el uso de recursos sanitarios. Al proporcionar una descripción detallada, este apartado ofrece una base sólida para la implementación del modelo propuesto.

3.4 Beneficios del sistema de recomendación

La implementación de un sistema de recomendación basado en inteligencia artificial (IA) y procesamiento de lenguaje natural (PLN) en el sistema sanitario español ofrece una serie de beneficios que pueden mejorar significativamente la eficiencia y efectividad de la atención médica. Uno de los principales beneficios de estas soluciones es su capacidad para mejorar la precisión diagnóstica. La IA y el PLN pueden analizar grandes volúmenes de datos clínicos y detectar patrones que podrían pasar desapercibidos para los médicos humanos. Por ejemplo, la IA puede ayudar a identificar signos tempranos de enfermedades que podrían no ser evidentes en las etapas iniciales (Nizam & Aslekar, 2021). Esta mejora en la precisión diagnóstica lleva a un tratamiento más eficaz y reduce el riesgo de complicaciones derivadas de diagnósticos erróneos.

Además, la automatización del proceso de pruebas diagnósticas y derivación mediante IA y PLN puede reducir significativamente los tiempos de espera para los pacientes. Al agilizar estos procesos, los pacientes pueden recibir atención más rápidamente, lo que es

crucial para el manejo de muchas condiciones médicas. La reducción en los tiempos de espera mejora la experiencia del paciente y alivia la presión sobre el personal sanitario, permitiendo un uso más eficiente de los recursos disponibles.

La optimización de los recursos sanitarios es otro beneficio importante de la IA y el PLN. Estos modelos pueden proporcionar recomendaciones precisas sobre la necesidad de pruebas diagnósticas y tratamientos, evitando la realización de pruebas innecesarias y optimizando la asignación de recursos (Zhou et al., 2021). En un sistema sanitario con recursos limitados, la capacidad de utilizar los recursos de manera más eficiente puede tener un impacto significativo en la calidad y accesibilidad de la atención médica.

La implementación de IA puede reducir significativamente los errores médicos al proporcionar recomendaciones basadas en datos y evidencia. Esto es especialmente importante en situaciones críticas donde los errores pueden tener consecuencias graves. La reducción de errores médicos mejora la seguridad del paciente y los costes asociados con tratamientos y hospitalizaciones que resultan de complicaciones evitables.

La mejora en la precisión diagnóstica, la reducción de tiempos de espera, y la personalización del tratamiento contribuyen a una mayor satisfacción del paciente. Un sistema de atención médica más eficiente y eficaz puede aumentar la confianza y la satisfacción del paciente con el sector sanitario (Lysaght et al., 2019). La satisfacción del paciente es un indicador clave de la calidad del sistema sanitario y puede influir en la percepción pública y el uso de los servicios de salud.

La IA puede ayudar a estandarizar los procesos de diagnóstico y tratamiento, asegurando que todos los pacientes reciban un nivel de atención consistente y basado en las mejores prácticas clínicas. Esto es especialmente importante en un sistema sanitario descentralizado como el de España, donde las prácticas pueden variar significativamente entre diferentes regiones. La estandarización de los procesos mejora la calidad de la atención y facilita la recopilación de datos y el análisis comparativo entre diferentes regiones y centros de salud.

En resumen, la implementación de un sistema de recomendación basado en IA y PLN en el sistema sanitario español puede ofrecer numerosos beneficios, incluyendo la mejora de la precisión diagnóstica, la optimización de la gestión hospitalaria, la personalización de

la atención al paciente, la reducción de errores médicos, y el monitoreo continuo y análisis predictivo. Estos beneficios pueden llevar a una atención médica más eficiente, efectiva y personalizada, mejorando tanto la satisfacción del paciente como la calidad del cuidado de los pacientes. Sin embargo, para aprovechar plenamente estos beneficios, es esencial abordar los desafíos éticos y de seguridad asociados con la implementación de estas tecnologías. Con un enfoque cuidadoso y considerado, la IA y el PLN pueden desempeñar un papel crucial en la mejora del sistema sanitario español.

4. Conclusiones

El trabajo realizado se centra en la optimización de la atención al paciente en el sistema sanitario español, especialmente en el primer contacto, mediante la implementación de un sistema de automatización de diagnóstico y citas médicas basado en inteligencia artificial (IA) y procesamiento de lenguaje natural (PLN). La investigación y el análisis de la situación actual del sistema sanitario revelan tanto los beneficios potenciales como los desafíos que conlleva la integración de estas tecnologías avanzadas.

La implementación de IA y PLN en el sistema sanitario tiene el potencial de transformar significativamente la precisión y eficiencia del diagnóstico médico. Los modelos de IA pueden analizar grandes volúmenes de datos clínicos, incluyendo historiales médicos, resultados de pruebas de laboratorio y notas de los médicos, para identificar patrones y hacer predicciones precisas sobre el estado de salud de los pacientes. Esta capacidad mejora la precisión diagnóstica y reduce el tiempo necesario para llegar a un diagnóstico, permitiendo intervenciones más rápidas y efectivas (Wen et al., 2019).

Uno de los problemas más críticos del sistema sanitario español, exacerbado por la pandemia de COVID-19, es el incremento en los tiempos de espera para consultas y tratamientos. La automatización de los procesos de diagnóstico y derivación mediante IA puede reducir significativamente estos tiempos de espera. Al agilizar estos procesos, los pacientes pueden recibir atención más rápidamente, lo que es crucial para el manejo de muchas condiciones médicas. Esto mejora la experiencia del paciente y alivia la presión sobre los profesionales de la salud, permitiendo un uso más eficiente de los recursos disponibles (Mattei & del Pino, 2021).

La propuesta de implementación de un sistema de recomendación basado en IA y PLN optimiza el uso de recursos sanitarios y permite la personalización de la atención al paciente. Este sistema puede analizar datos individuales y proporcionar recomendaciones de tratamiento adaptadas a las necesidades específicas de cada paciente, mejorando así la efectividad del tratamiento y aumentando la satisfacción del paciente (Triantafyllou, 2020). La capacidad de proporcionar recomendaciones personalizadas es una de las principales ventajas de la integración de IA en el sistema sanitario.

A pesar de los numerosos beneficios, la implementación de IA en el sector sanitario presenta desafíos significativos. La integración de estas tecnologías requiere infraestructura tecnológica avanzada y la interoperabilidad entre sistemas de salud. Además, la privacidad y seguridad de los datos de los pacientes son preocupaciones críticas que deben ser abordadas. Es esencial que las estrategias de implementación incluyan medidas robustas de seguridad para proteger la confidencialidad y prevenir el acceso no autorizado a los datos (Jeyaraman et al., 2023).

La implementación de IA en el sistema sanitario debe ser realizada de manera ética y responsable. Es crucial que los algoritmos de IA sean justos y no perpetúen desigualdades existentes. La transparencia en las decisiones algorítmicas y la responsabilidad de los resultados son esenciales para generar confianza entre los profesionales de la salud y los pacientes (Lysaght et al., 2019). La capacidad de explicar las decisiones de la IA de manera comprensible es fundamental para que los médicos puedan validar y confiar en las recomendaciones de los sistemas automatizados.

La aceptación y uso efectivo de las tecnologías de IA dependen en gran medida de la capacitación de los profesionales de la salud y la confianza en las recomendaciones generadas por estos sistemas. La formación adecuada y la comunicación clara sobre los beneficios y limitaciones de la IA son esenciales para su integración exitosa en la práctica clínica diaria. Sin una adecuada formación y aceptación, incluso las tecnologías más avanzadas pueden fracasar en su implementación (Nilsen et al., 2022).

La propuesta de implementar un sistema de automatización de diagnóstico y citas médicas basado en IA y PLN es particularmente relevante en el contexto actual del sistema sanitario español. El envejecimiento de la población y la creciente prevalencia de enfermedades crónicas están aumentando la presión sobre el sistema sanitario. Además, la pandemia de COVID-19 ha exacerbado los problemas existentes, destacando la necesidad de soluciones innovadoras. La implementación de este sistema puede mejorar la precisión diagnóstica, reducir los tiempos de espera, optimizar los recursos sanitarios y personalizar la atención al paciente, abordando así algunos de los problemas más críticos del sistema sanitario español (Zhou et al., 2021).

En conclusión, la implementación de un sistema de automatización de diagnóstico y citas médicas basado en IA y PLN puede ofrecer numerosos beneficios al sistema sanitario

español, incluyendo mejoras en la precisión diagnóstica, reducción de tiempos de espera, optimización de recursos y personalización de la atención. Sin embargo, para aprovechar plenamente estos beneficios, es esencial abordar de manera proactiva los desafíos técnicos y éticos asociados con la implementación de estas tecnologías. Con un enfoque cuidadoso y considerado, la IA puede desempeñar un papel crucial en la mejora del sistema sanitario español, ofreciendo una atención médica más eficiente, efectiva y personalizada.

5. Declaración de uso de herramientas de Inteligencia artificial generativa en trabajos fin de grado

Por la presente, yo, Jorge Magaña Morán estudiante de ADE + Business Analytics de la Universidad Pontificia Comillas al presentar mi Trabajo Fin de Grado titulado "Optimización de la atención al paciente en el primer contacto con la automatización de pruebas diagnósticas y citas médicas", declaro que he utilizado la herramienta de Inteligencia Artificial Generativa ChatGPT u otras similares de IAG de código sólo en el contexto de las actividades descritas a continuación:

1. **Referencias:** Usado conjuntamente con otras herramientas, como Science, para identificar referencias preliminares que luego he contrastado y validado.
2. **Interpretador de código:** Para realizar análisis de datos preliminares.
3. **Corrector de estilo literario y de lenguaje:** Para mejorar la calidad lingüística y estilística del texto.
4. **Sintetizador y divulgador de libros complicados:** Para resumir y comprender literatura compleja.
5. **Generador de problemas de ejemplo:** Para ilustrar conceptos y técnicas.
6. **Traductor:** Para traducir textos de un lenguaje a otro.

Afirmo que toda la información y contenido presentados en este trabajo son producto de mi investigación y esfuerzo individual, excepto donde se ha indicado lo contrario y se han dado los créditos correspondientes (he incluido las referencias adecuadas en el TFG y he explicitado para que se ha usado ChatGPT u otras herramientas similares). Soy consciente de las implicaciones académicas y éticas de presentar un trabajo no original y acepto las consecuencias de cualquier violación a esta declaración.

Fecha: Junio 2024

Firma: Jorge Magaña Morán

6. Bibliografía

- Amedior, N. (2023). Ethical implications of artificial intelligence in the healthcare sector. *Advances in Multidisciplinary and Scientific Research Journal Publication*.
- Bernal-Delgado, E., García-Armesto, S., Oliva, J., Martínez, F., Repullo, J., Peña-Longobardo, L., Ridao-López, M., & Hernández-Quevedo, C. (2018). Spain: Health system review. *Health Systems in Transition*, 20(2), 1-179.
- Bhogawar, S., Nuthakki, S., Mannumadam Venugopal, S., & Mullankandy, S. (2023). The ethical and social implications of using AI in healthcare: A literature review. *International Journal of Science and Research (IJSR)*, 12(11)
- Blasimme, A., & Vayena, E. (2020). The ethics of AI in biomedical research, patient care, and public health. In M. D. Dubber, F. Pasquale, & S. Das (Eds.), *The Oxford Handbook of Ethics of AI*. Oxford Academic.
- Borra, C., Pons-Pons, J., & Vilar-Rodríguez, M. (2019). Austerity, healthcare provision, and health outcomes in Spain. *The European Journal of Health Economics*, 21, 409-423.
- Cervero-Liceras, F., McKee, M., & Legido-Quigley, H. (2015). The effects of the financial crisis and austerity measures on the Spanish health care system: A qualitative analysis of health professionals' perceptions in the region of Valencia. *Health Policy*, 119(1), 100-106.
- Denecke, K., & Gabarron, E. (2021). How artificial intelligence for healthcare looks like in the future? *Studies in Health Technology and Informatics*, 281, 860-864.
- Gama, F., Tyskbo, D., Nygren, J., Barlow, J., Reed, J., & Svedberg, P. (2022). Implementation frameworks for artificial intelligence translation into health care practice: Scoping review. *Journal of Medical Internet Research*, 24(1), e32215.
- Gomez Rossi, J., Feldberg, B., Krois, J., & Schwendicke, F. (2022). Evaluation of the clinical, technical, and financial aspects of cost-effectiveness analysis of artificial intelligence in medicine: Scoping review and framework of analysis. *JMIR Medical Informatics*, 10(8), e33703.
- Google Cloud. (2024). Speech-to-Text Pricing.

- Harry, A. (2023). The future of medicine: Harnessing the power of AI for revolutionizing healthcare. *International Journal of Multidisciplinary Sciences and Arts*.
- Hospitecnia. (2023). *La financiación inteligente: Clave para posibilitar el crecimiento estimado de tecnología*.
- Instituto Nacional de Estadística (INE). (2023). Proporción de personas mayores de cierta edad por provincia. INE.
- Jeyaraj, B., & AVSM, L. (2023). Role of artificial intelligence in enhancing healthcare delivery. *International Journal of Innovative Science and Modern Engineering*.
- Jeyaraman, M., Balaji, S., Jeyaraman, N., et al. (2023). Unraveling the ethical enigma: Artificial intelligence in healthcare. *Cureus, 15*(8), e43262
- Jiang, F., Jiang, Y., Zhi, H., Dong, Y., Li, H., Ma, S., Wang, Y., Dong, Q., Shen, H., & Wang, Y. (2017). Artificial intelligence in healthcare: Past, present and future. *Stroke and Vascular Neurology, 2*, 230-243
- Jiao, W., Zhang, X., & D'Souza, F. (2023). The economic value and clinical impact of artificial intelligence in healthcare: A scoping literature review. *IEEE Access, 11*, 123445-123457.
- Kooli, C., & Muftah, H. (2022). Artificial intelligence in healthcare: A comprehensive review of its ethical concerns. *Technological Sustainability*.
- semFYC. (2021). Colapso de la Atención Primaria: 48 pacientes por médico y 5,7 días de espera. *La Vanguardia*.
- Li, H., Li, G., Li, N., Liu, C., Yuan, Z., Gao, Q., et al. (2023). Cost-effectiveness analysis of artificial intelligence-based diabetic retinopathy screening in rural China based on the Markov model. *PLOS ONE, 18*(11), e0291390.
- Lopez-Villegas, A., Bautista-Mesa, R., Baena-Lopez, M., Garzon-Miralles, A., Castellano-Ortega, M., Leal-Costa, C., & Peiró, S. (2022). Impact of the COVID-19 pandemic on healthcare activity in the regional hospitals of Andalusia (Spain). *Journal of Clinical Medicine, 11*.
- Lysaght, T., Lim, H. Y., Xafis, V., et al. (2019). AI-assisted decision-making in healthcare. *Asian Bioethics Review, 11*, 299-314.

- Minas, M., & Triantafillou, G. (2020). Future of the artificial intelligence in daily health applications. *European Journal of Social & Behavioural Sciences*, 29, 3182-3189.
- Mittal, A., Afsar, A., Tayal, A., & Shetty, M. (2023). Artificial intelligence and healthcare. *MAMC Journal of Medical Sciences*, 9, 81-87.
- Morley, J., Machado, C., Burr, C., Cows, J., Joshi, I., Taddeo, M., & Floridi, L. (2020). The ethics of AI in health care: A mapping review. *Social Science & Medicine*, 260, 113172.
- Naik, N., Hameed, B. M. Z., Shetty, D. K., Swain, D., Shah, M., Paul, R., Aggarwal, K., Ibrahim, S., Patil, V., Komal, S., Shetty, S., Rai, B. P., Chlosta, P., & Somani, B. K. (2022). Legal and ethical consideration in artificial intelligence in healthcare: Who takes responsibility? *Frontiers in Surgery*, 9.
- Nilsen, P., Svedberg, P., Nygren, J., Frideros, M., Johansson, J., & Schueller, S. (2022). Accelerating the impact of artificial intelligence in mental healthcare through implementation science. *Implementation Research and Practice*, 3
- Nizam, V., & Aslekar, A. (2021). Challenges of applying AI in healthcare in India. *Journal of Pharmaceutical Research International*.
- Noorbakhsh-Sabet, N., Zand, R., Zhang, Y., & Abedi, V. (2019). Artificial intelligence transforms the future of health care. *The American Journal of Medicine*.
- Odondo. (2023). *Customer Service Outsourcing Pricing Guide for 2023*.
- OpenAI. (2024). Pricing.
- Organisation for Economic Co-operation and Development (OECD). (2021). *Panorama de la salud 2021: Indicadores de la OCDE*. OECD.
- Pasricha, S. (2023). AI ethics in smart healthcare. *IEEE Consumer Electronics Magazine*, 12(4), 12-20.
- Puaschunder, J. (2020). The future of artificial intelligence in international healthcare: An index. *SSRN Electronic Journal*.
- Radakovich, N., & Nazha, A. (2021). The future of artificial intelligence in healthcare. In *Machine Learning in Cardiovascular Medicine*.

- Schwendicke, F., Rossi, J. G., Göstemeyer, G., et al. (2021). Cost-effectiveness of artificial intelligence for proximal caries detection. *Journal of Dental Research*, *100*(4), 369-376.
- Sobregreu Sangrà, P., Aguiló Mir, S., Castro Ribeiro, T., Esteban-Sepúlveda, S., García Pagès, E., López Barbeito, B., Pomar Moya-Prats, J. L., Pintor Pérez, L., & Aguiló Llobet, J. (2022). Mental health assessment of Spanish healthcare workers during the SARS-CoV-2 pandemic. A cross-sectional study. *Comprehensive Psychiatry*, *112*, 152278.
- Strohm, L., Hehakaya, C., Ranschaert, E. R., et al. (2020). Implementation of artificial intelligence (AI) applications in radiology: Hindering and facilitating factors. *European Radiology*, *30*(5525-5532).
- Svedberg, P., Reed, J., Nilsen, P., Barlow, J., Macrae, C., & Nygren, J. (2022). Toward successful implementation of artificial intelligence in health care practice: Protocol for a research program. *JMIR Research Protocols*, *11*(3), e34920.
- Triantafillou, G., & Minas, M. Y. (2020). Future of the artificial intelligence in daily health applications. *The European Journal of Social & Behavioural Sciences*, *29*(3), 145-153.
- van Leeuwen, K. G., Meijer, F. J. A., Schalekamp, S., et al. (2021). Cost-effectiveness of artificial intelligence aided vessel occlusion detection in acute stroke: An early health technology assessment. *Insights into Imaging*, *12*, 133
- Wang, F., & Preininger, A. (2019). AI in health: State of the art, challenges, and future directions. *Yearbook of Medical Informatics*, *28*, 16-26
- Wen, A., Fu, S., Moon, S., Wazir, M., Rosenbaum, A., Kaggal, V., Liu, S., Sohn, S., Liu, H., & Fan, J. (2019). Desiderata for delivering NLP to accelerate healthcare AI advancement and a Mayo Clinic NLP-as-a-service implementation. *NPJ Digital Medicine*, *2*.
- Wolff, J., Pauling, J., Keck, A., & Baumbach, J. (2021). Success factors of artificial intelligence implementation in healthcare. *Frontiers in Digital Health*, *3*.

Zhou, B., Yang, G., Shi, Z., & Ma, S. (2021). Natural language processing for smart healthcare. *IEEE Reviews in Biomedical Engineering*. Advance online publication.

7. Anexos

Anexo 1: Pruebas diagnósticas servicio traumatología. Disponible en:

https://docs.google.com/spreadsheets/d/1V95ZpfgpnZi0byQLqokfENxcFFYKkEpI/edit?usp=drive_link&oid=101873659252895146069&rtpof=true&sd=true



Anexo 1: Pruebas diagnósticas servicio traumatología

Anexo 2: Llamada anonimizada B. Disponible en:

https://drive.google.com/file/d/1DJwWkECUHKyC-DPBYXUcMvJOQhCZ3bll/view?usp=drive_link



Anexo 2: Llamada anonimizada B

Anexo 3: Transcripción adaptada B. Disponible en:

https://drive.google.com/file/d/1rGGHVv1a6t0RocOSJWDgI49GZ8kz7Z14/view?usp=drive_link



Anexo 3: Transcripción adaptada B

Anexo 4: Respuesta modelo llamada B. Disponible en:

https://drive.google.com/file/d/1YjwelpVigAK4KujkuYFOV6EjjOMP8HvS/view?usp=drive_link



Anexo 4: Respuesta modelo llamada B

Anexo 5: Llamada anonimizada A. Disponible en:

https://drive.google.com/file/d/1euzQWrwWH51A3xQIB56HmwykMS5jovec/view?usp=drive_link



Anexo 5: Llamada anonimizada A

Anexo 6: Transcripción adaptada A. Disponible en:

https://drive.google.com/file/d/10VAXZoWXWZmz3wiSN6Ah5TFnouOkE9vh/view?usp=drive_link



Anexo 6: Transcripción adaptada A

Anexo 7: Respuesta del modelo llamada A. Disponible en:

https://drive.google.com/file/d/1ELRyjJaK-jVUSu0fz8hte5IV5tdGRDvz/view?usp=drive_link



Anexo 7: Respuesta del modelo llamada A