



Escuela Técnica Superior de Ingeniería (ICAI)

MÁSTER UNIVERSITARIO EN INGENIERÍA INDUSTRIAL

TRABAJO FIN DE MÁSTER

Optimización de los protocolos clínicos frente a patologías crónicas mediante el uso de la inteligencia artificial

Autor: Alejandro Álvaro Orfila

Director: Luis Alarcón Massó

Madrid / Julio de 2025

Declaro, bajo mi responsabilidad, que el Proyecto presentado con el título
Optimización de los protocolos clínicos frente a patologías crónicas mediante
el uso de la inteligencia artificial
en la ETS de Ingeniería - ICAI de la Universidad Pontificia Comillas en el
curso académico 2024/2025 es de mi autoría, original e inédito y
no ha sido presentado con anterioridad a otros efectos. El Proyecto no es
plagio de otro, ni total ni parcialmente y la información que ha sido tomada
de otros documentos está debidamente referenciada.

Fdo.: Alejandro Álvaro Orfila

Fecha: 19 / 07 / 2025

A handwritten signature in black ink, appearing to read 'Álex Álvaro', with several horizontal strokes underneath.

Autorizada la entrega del proyecto

EL DIRECTOR DEL PROYECTO

Fdo.: Luis Alarcón Massó

Fecha: 19 / 07 / 2025



Escuela Técnica Superior de Ingeniería (ICAI)

MÁSTER UNIVERSITARIO EN INGENIERÍA INDUSTRIAL

TRABAJO FIN DE MÁSTER

Optimización de los protocolos clínicos frente a patologías crónicas mediante el uso de la inteligencia artificial

Autor: Alejandro Álvaro Orfila

Director: Luis Alarcón Massó

Madrid / Julio de 2025

ÍNDICE GENERAL

RESUMEN DEL PROYECTO.....	9
ABSTRACT	24
1. Capítulo I: Estructura del Trabajo	39
1.1 Introducción.....	39
1.2 Motivación.....	40
1.3 Objetivos del proyecto.....	42
1.4 Alineación con los Objetivos de Desarrollo Sostenible (ODS)	43
1.5 Metodología de trabajo.....	45
1.6 Recursos empleados	46
1.7 Desarrollo	47
2. Capítulo II: Análisis Contextual.....	49
2.1 Aplicaciones de la Inteligencia Artificial en medicina	49
2.2 Enfermedad Pulmonar Obstructiva Crónica (EPOC).....	61
2.3 Insuficiencia Cardíaca	70
2.4 Diabetes	79
2.5 Virus de la Inmunodeficiencia Humana (VIH)	89
3. Capítulo III: Industrialización de procesos clínicos mediante IA	99
3.1 Estrategia de transformación del modelo asistencial en Quirónsalud	99
3.1.1 Pre-asistencia	102
3.1.2 Asistencia hospitalaria	116
3.1.3 Post-asistencia	130

3.2 Marco Ético – Legal de la implementación de la IA	134
3.3 Integración técnica de la IA.....	144
3.3.1 Comunicación con motor de IA.....	144
3.3.2 Ejemplo de vía clínica automatizada	149
3.3.3 Aspectos de privacidad.....	153
4. Capítulo IV: Contribución propia al sistema de Quirónsalud	160
5. Capítulo V: Metodología de análisis	171
6. Capítulo VI: Comparación antes y después de la IA.....	179
7. Capítulo VII: Análisis de los resultados obtenidos	193
8. Capítulo VIII: Conclusiones	199
9. Bibliografía	200
10. Anexos	209

ÍNDICE DE FIGURAS

Figura 1. Las 18 categorías de aspectos relacionados con la IA que más aparecen en las publicaciones científicas y académicas. Fuente: Hassan et al., 2024.	56
Figura 2. La clasificación GOLD de la EPOC. Fuente: (Khan et al., 2023).	62
Figura 3. Años de vida perdidos y ajustados por discapacidad debido a la COPD, según la edad, anualmente y a nivel mundial. Fuente: (Stolz et al., 2022)	65
Figura 4. Mapa de la variabilidad geográfica en la incidencia de exacerbaciones moderadas o graves de la EPOC. Fuente: (Stolz et al., 2022).....	66
Figura 5. Algoritmo de red neuronal artificial y entrenamiento de un modelo de aprendizaje automático en medicina. Fuente: (Feng et al., 2021)	67
Figura 6. Prevalencia de la insuficiencia cardíaca por cada 1000 personas en Europa. Fuente: (Rosano et al., 2022).	73
Figura 7. Prevalencia global de la diabetes por edad y sexo en 2021. Fuente: Sun et al., 2022.	82
Figura 8. Número de personas adultas entre 20 y 79 años con diabetes que viven en zonas urbanas y rurales en 2021 y estimación para 2045. Fuente: Sun et al., 2022.	83
Figura 9. Distribución porcentual de uso de algoritmos en predicción de diabetes. Fuente: Khokhar et al., 2024.....	88
Figura 10. Progresos hacia la consecución de los objetivos 95-95-95. Fuente: (OMS, 2023)	93
Figura 11. Tendencias globales de personas que contraen el VIH y fallecen por causas relacionadas, 2010–2022 y proyecciones hasta 2030. Fuente: (OMS, 2023).....	94
Figura 12. Evolución demanda servicios hospitalarios RED4H. Fuente: Quirónsalud, UICO, 2022.....	99
Figura 13. Transformación de procesos asistenciales. Fuente: Quirónsalud, UICO, 2022. .	101
Figura 14. Rediseño del modelo de atención. Fuente: Quirónsalud, Dirección General Corporativa, 2023.	103

Figura 15. Flujo completo del modelo de protocolos de primera consulta. Fuente: Quirónsalud, Dirección General Corporativa, 2023.	107
Figura 16. Vía clínica estandarizada diabetes tipo 2. Fuente: Quirónsalud, Dirección General Corporativa, 2023.	112
Figura 17. Vía clínica estandarizada diabetes tipo 1. Fuente: Quirónsalud, Dirección General Corporativa, 2023.	113
Figura 18. Vía clínica estandarizada EPOC. Fuente: Quirónsalud, Dirección General Corporativa, 2023.	113
Figura 19. Vía clínica estandarizada Insuficiencia Cardíaca. Fuente: Quirónsalud, Dirección General Corporativa, 2023.	114
Figura 20. Vía clínica estandarizada VIH. Fuente: Quirónsalud, Dirección General Corporativa, 2023.	115
Figura 21. Integración del programa E-Res Salud en la práctica clínica. Fuente: Rodríguez et al., 2023.	132
Figura 22. Diagrama de flujo del proceso de pseudoanonimización. Fuente: Quirónsalud equipo técnico.	156
Figura 23. Ejemplo de navegación en el Árbol de decisión para las vías clínica de EPOC.	170
Figura 24. Número total de primeras citas ambulatorias y porcentaje de pacientes que reciben diagnósticos y planes de tratamiento en la primera cita, con alta en atención primaria, durante el periodo de estudio. Fuente: Álvaro de la Parra et al., 2024.	181
Figura 25. Evolución del porcentaje de altas en primera consulta (pacientes que reciben diagnósticos y planes de tratamiento en la primera cita, con alta en atención primaria) a lo largo del año 2024 y por hospital. Fuente: Quirónsalud (Gerencia)	188
Figura 26. Porcentaje de pacientes que reciben un diagnóstico y un plan de tratamiento en la primera cita con el alta de atención primaria, grupo de implementación y grupo de control. Fuente: Álvaro de la Parra et al., 2024.	194
Figura 27. Tasas de «no asistencia», grupo de implementación y grupo de control. Fuente: Álvaro de la Parra et al., 2024.	195
Figura 28. Índice de seguimiento hasta la primera cita, grupo de implementación y grupo de control. Fuente: Álvaro de la Parra et al., 2024.	196

ÍNDICE DE TABLAS

Tabla 1. Resumen resultados post-implementación. Fuente: Álvaro de la Parra et al., 2024..	19
Tabla 2. Summary of post-implementation results. Source: Álvaro de la Parra et al., 2024	34
Tabla 3. Aplicaciones de la Inteligencia Artificial en Medicina y Atención Sanitaria. Fuente: Gómez-González et al., 2020.	51
Tabla 4. Estimaciones para los años 2021 y 2045 del número de personas adultas, entre 20 y 79 años, con diabetes y de la prevalencia de la enfermedad en el mundo, atendiendo a la clasificación de ingresos del Banco Mundial, junto con los intervalos de incertidumbre, expresados entre paréntesis. Fuente: Sun et al., 2022.	84
Tabla 5. Antecedentes devueltos por Scribe en caso de Neumología. Fuente: Quirónsalud (Dirección Técnica)	126
Tabla 6. Prescripciones devueltas por Scribe en caso de Neumología. Fuente: Quirónsalud (Dirección Técnica)	126
Tabla 7. Peticiones devueltas por Scribe en caso de Neumología. Fuente: Quirónsalud (Dirección Técnica)	126
Tabla 8. Índice de pedidos de pruebas/citas ambulatorias para el primer y el último semestre del periodo de estudio (de enero a junio de 2018 y de enero a junio de 2023). Fuente: Álvaro de la Parra et al., 2024.	185
Tabla 9. Resultados post-implementación. Fuente: Álvaro de la Parra et al., 2024.	187
Tabla 10. Tabla resumen con los datos más significativos de Costes / Beneficios. Fuente: Elaboración propia.	191
Tabla 11. Recopilación datos de significancia estadística y tamaño del efecto entre grupos con y sin intervención automatizada. Fuente: Álvaro de la Parra et al., 2024.	198

Optimización de los protocolos clínicos frente a patologías crónicas mediante el uso de la inteligencia artificial

Autor: Álvaro Orfila, Alejandro.

Director: Alarcón Massó, Luis.

Entidad Colaboradora: Quirónsalud, S.A.

RESUMEN DEL PROYECTO

INTRODUCCIÓN

La inteligencia artificial (IA) está demostrando ser una de las herramientas más revolucionarias del siglo XXI, impactando en numerosos sectores y transformando la manera en la que operan. El ámbito sanitario es particularmente receptivo a la incorporación de tecnologías basadas en IA dado su potencial para optimizar procesos que mejoren la toma de decisiones clínicas y eleven los estándares de atención al paciente.

En las últimas décadas, el aumento de la esperanza de vida y el crecimiento poblacional han sobrecargado los sistemas de salud en todo el mundo. Esta situación se agrava con la alta prevalencia de enfermedades crónicas como son la diabetes, la insuficiencia cardíaca, la enfermedad pulmonar obstructiva crónica (EPOC) y el sida. La Organización Mundial de la Salud (OMS) estima que las enfermedades crónicas son responsables del 71% de todas las muertes a nivel global, motivo que hace esencial desarrollar estrategias efectivas para enfrentarlas (Araújo-de Carvalho et al., 2022).

Se abordará la industrialización de procesos clínicos mediante IA realizando un análisis que incluirá una comparación de resultados antes y después de la implementación de la IA, una evaluación de su impacto en la experiencia del paciente y una exploración de las posibilidades de esta herramienta en la asistencia prehospitalaria, durante la hospitalización y en el seguimiento posterior.

Este proyecto se llevará a cabo en colaboración con Quirónsalud, una organización sanitaria líder que proporcionará acceso a datos clínicos reales, facilitando una visión práctica de cómo la IA se integra en flujos hospitalarios existentes y permitiendo así evaluar su impacto en la eficiencia.

Este TFM se alinea directamente con varios Objetivos de Desarrollo Sostenible (ODS) planteados por la Agenda 2030 de las Naciones Unidas, centrándose en la promoción del bienestar y en la innovación tecnológica en el sector sanitario (Naciones Unidas, s.f.).

ESTADO DE LA CUESTIÓN

El uso de la inteligencia artificial (IA) en la medicina es una de las áreas más prometedoras y revolucionarias de la tecnología moderna. La capacidad de la IA para analizar grandes volúmenes de datos, aprender de ellos y hacer predicciones precisas ha permitido su aplicación en diversos campos de la salud, incluyendo la gestión de enfermedades crónicas (Tarumi et al., 2021).

Este es el caso de la diabetes, que se ha consolidado como una de las enfermedades crónicas más graves y comunes en la actualidad (Sun et al., 2022), donde una de las aplicaciones más relevantes de la IA es la clasificación de pacientes en subgrupos con características clínicas similares, permitiendo personalizar el tratamiento y mejorar los resultados en salud (Manzini, Garrido-Aguirre, & Perera-Lluna, 2022).

Con una prevalencia global que supera los 300 millones de casos y una mortalidad anual de más de 3 millones de personas aproximadamente, la EPOC se ha convertido en la tercera causa de muerte a nivel mundial y la octava causa por la que se pierden más años de vida (Stolz et al., 2022). La inteligencia artificial permite mejorar el diagnóstico, la estadificación y el manejo de la enfermedad, especialmente mediante el análisis de imágenes médicas como la tomografía computarizada (Wu et al., 2024).

El VIH sigue siendo uno de los mayores desafíos para la salud pública a nivel mundial, con más de 40 millones de personas conviviendo con él (Organización Mundial de la Salud, 2023). Una de las herramientas prometedoras para mejorar el acceso al diagnóstico es la autoprueba de VIH, recomendada por la Organización Mundial de la Salud (OMS). La inteligencia artificial es una solución potencial para mejorar la precisión en la interpretación de las autopruebas de VIH (Roche et al., 2024).

La insuficiencia cardíaca es una de las principales causas de hospitalización y mortalidad cardiovascular en Europa y en EEUU, con una prevalencia que varía significativamente entre países debido a diferencias en factores de riesgo, envejecimiento poblacional y acceso a la atención médica (Rosano et al., 2022). En el ámbito de la imagen cardíaca y en el manejo de condiciones complejas como la insuficiencia cardíaca, la IA ha demostrado ser capaz de optimizar la adquisición y el procesamiento de las imágenes (Loncaric et al., 2021).

ESTRATEGIA DE TRANSFORMACIÓN DEL MODELO ASISTENCIAL EN QUIRÓNSALUD

La estrategia de Quirónsalud representa un modelo de éxito en la transformación digital y organizativa de los sistemas sanitarios. Se sustenta en una sinergia entre el análisis de grandes volúmenes de datos (Big Data) y la aplicación de sistemas de Inteligencia Artificial (IA), creando un modelo asistencial estandarizado, basado en el consenso clínico y altamente eficiente (Quirónsalud, UICO, 2022).

Pre-asistencia (“antes”)

La fase de pre-asistencia constituye el cimiento de la transformación del modelo, orientado a eliminar tiempos muertos y garantizar que los pacientes accedan a la primera consulta especializada con toda la información diagnóstica necesaria (Quirónsalud, UICO, 2022).

Quirónsalud, redefine este flujo tradicional al anticipar la realización de pruebas diagnósticas antes de la primera consulta con el especialista. Este enfoque se sustenta en protocolos previamente validados que determinan las exploraciones complementarias necesarias en función del motivo de derivación y las características del paciente. De esta manera, la primera consulta se convierte en un acto resolutorio, equiparable a la segunda consulta del modelo tradicional, ya que el especialista cuenta con toda la información diagnóstica requerida desde el inicio.

Se integra un catálogo de vías clínicas automatizadas al funcionamiento de los hospitales mediante una herramienta denominada Gestor de Casos (Command Center), en la plataforma Casiopea (el sistema informático usado por la empresa en sus centros).

Se sigue un protocolo estandarizado, basado en formularios guiados y herramientas digitales, que permite determinar el motivo de consulta preciso y aplicar los protocolos correspondientes de manera sistemática. Mediante un sistema de IA que usa un diccionario de palabras clave derivado del análisis previo, asigna automáticamente el protocolo correspondiente al motivo de derivación. Se trata de un algoritmo de NLP que analiza el texto y asigna automáticamente el protocolo correspondiente (Quirónsalud, Dirección General Corporativa, 2023).

Asistencia hospitalaria (“durante”)

La fase asistencia hospitalaria busca transformar consultas tradicionales en procesos resolutorios, reduciendo la variabilidad y mejorando la eficiencia. Además de las vías clínicas automatizadas que continúan mejorando esta fase del proceso, la automatización de la documentación clínica mediante procesamiento de lenguaje natural se hace posible gracias al Modelo Scribe, una IA que transcribe las consultas médicas. El sistema registra la conversación entre médico y paciente, ya sea en consultas presenciales o en remoto, convirtiendo el diálogo en texto.

La transcripción se procesa mediante un motor de IA agnóstico (actualmente basado en ChatGPT, pero diseñado para ser interoperable con otros modelos). Este motor identifica:

- Entidades clínicas relevantes: síntomas, diagnósticos, tratamientos previos.
- Acciones derivadas: peticiones de pruebas (radiografías, analíticas) y prescripciones (paracetamol 1g/8h).

La salida se organiza en formularios predefinidos de la historia clínica, combinando lenguaje natural con campos estructurados. Scribe genera sugerencias de actuación (peticiones, prescripciones), pero la decisión final recae siempre en el médico, quien puede modificarlas, añadir observaciones o rechazarlas.

Scribe surge como una solución tecnológica para automatizar la documentación clínica, liberando al facultativo de la carga burocrática asociada a la historia clínica. Además, es un sistema de apoyo a la decisión clínica y su función actual incluye la emisión de recomendaciones diagnósticas o terapéuticas.

Uno de los valores diferenciales de Scribe es su capacidad para permitir al médico mantener el contacto visual con el paciente, eliminando la necesidad de teclear durante la consulta. El sistema permite también que se aprovechen las interacciones asistenciales previas, simulando la dinámica de un médico que orienta a un residente (Quirónsalud, Dirección Técnica).

Post-asistencia (“después”)

El enfoque post-asistencial prioriza resultados tangibles y la experiencia del paciente, cerrando el ciclo asistencial. E-Res Salud fue concebido como un sistema configurable y escalable, integrado en el historial clínico electrónico de la red Quirónsalud, con el objetivo de:

1. Recoger datos estandarizados sobre resultados de salud y experiencias de los pacientes.
2. Facilitar la toma de decisiones basada en datos tanto a nivel clínico como gerencial.
3. Mejorar la atención centrada en el paciente mediante la personalización de los tratamientos y la comunicación médico-paciente.

Las medidas de resultados reportadas por los pacientes (PROMs, por sus siglas en inglés) y las medidas de experiencia reportadas por los pacientes (PREMs, por sus siglas en inglés) se han consolidado como herramientas fundamentales para evaluar la calidad asistencial desde la perspectiva del paciente. E-Res Salud opera a través del Portal del Paciente Quirónsalud, una plataforma web vinculada al HCE:

- Los pacientes son inscritos en el programa por sus médicos.
- Los cuestionarios se envían automáticamente en momentos clave (por ejemplo, al diagnóstico, durante el tratamiento, en el seguimiento).
- Las respuestas se integran directamente en el HCE y una base de datos centralizada (Rodríguez et al., 2023).

MARCO ÉTICO-LEGAL

La implantación de herramientas de inteligencia artificial en el ámbito sanitario requiere un riguroso cumplimiento de normativas legales y principios éticos que garanticen tanto la protección de los pacientes como la validez clínica de los procesos automatizados. El marco regulatorio y deontológico que Quirónsalud ha tenido que considerar para la implementación de sus vías clínicas automatizadas, incluye:

1. Las normativas europeas y nacionales que regulan el uso de datos sanitarios y sistemas de IA que son:
 - El Reglamento General de Protección de Datos (European Union, 2016).
 - El Reglamento UE 2024/1689 (Unión Europea, 2024).
 - La Ley Orgánica de Protección de Datos Personales y garantía de los derechos digitales (Gobierno de España, 2018).
2. Los requisitos específicos del sector sanitario español:
 - Ley 41/2002 (Gobierno de España, 2002).
 - Ley 44/2003 (Gobierno de España, 2003).

3. Los principios éticos profesionales dictaminados por el Código de Deontología Médica (Consejo General de Colegios Médicos, 2022) y El Código Internacional de Ética Médica de la Asociación Médica Mundial (World Medical Association, 2018).
4. Los mecanismos de seguridad y gobernanza implementados por la Agencia Española de Supervisión de la Inteligencia Artificial, AESIA (Gobierno de España, 2023).

INTEGRACIÓN TÉCNICA

Integración IA en la práctica diaria

La integración de la IA en la práctica diaria de Quirónsalud tiene lugar mediante la herramienta desarrollada para la adherencia a las trayectorias asistenciales automatizadas. La herramienta se apoya en la inteligencia artificial para analizar la información relevante de la historia clínica de los pacientes para proponer la trayectoria asistencial adecuada.

Mediante un código desarrollado en Python se construye la comunicación con GPT4- o, el motor de IA utilizado. Este implementa un sistema para procesar informes médicos mediante la API de OpenAI (es una interfaz de programación que permite integrar modelos avanzados de inteligencia artificial y que en este caso funciona como un "asistente digital" que procesa lenguaje médico). El sistema recibe y procesa datos no estructurados que son las transcripciones de las consultas, el fichero de configuración config.json en el que se codifica la lógica del árbol de decisión de cada vía clínica y los prompt específicos (instrucciones contextuales) para la adherencia de los pacientes a cada vía.

En colaboración con Quirónsalud se ha continuado desarrollando el sistema basado en inteligencia artificial mediante el diseño de un prompt para mejorar la adherencia a la vía clínica de EPOC mediante el procesamiento automatizado de informes médicos.

Aspectos de privacidad

Entre las soluciones disponibles, destaca la Pseudoanonimización avanzada como método con un adecuado equilibrio entre seguridad y funcionalidad y por ello fue el elegido por la empresa. Este proceso consiste en la eliminación de datos personales directos (como nombres, números de historia clínica, DNIs o tarjetas sanitarias) y su sustitución por tokens aleatorios, manteniendo la posibilidad de reversibilidad cuando sea necesario.

El proceso de pseudoanonimización comprende tres etapas fundamentales:

1. Identificación de campos sensibles
2. Sustitución de datos:
 - Se sustituye cada indicador por un token único generado automáticamente
 - Se registra la correspondencia del token con el dato original en una tabla

Aspectos críticos a considerar:

- Nivel de complejidad del token: La complejidad del token depende del grado de protección que se quiera dar.
 - Protección estricta de la tabla de correspondencia (cifrado avanzado, control de accesos).
3. Generación de salida anonimizada:
 - Producción de documentos aptos para su procesamiento por sistemas de IA diagnóstica
 - Aislamiento completo de los datos originales y su correspondencia

En el desarrollo de sistemas de IA para diagnóstico médico, además de la pseudoanonimización, se implementan otras medidas técnicas para garantizar la protección, entre ellas la minimización de datos, técnica alineada con el principio de "privacy by design" (limitar el tratamiento de datos a lo estrictamente necesario), el cifrado de datos en comunicaciones entre componentes y en almacenamiento de datos en reposo, el control de accesos y la autenticación y el registro de actividad (Quirónsalud, Dirección Técnica).

METODOLOGÍA DE ANÁLISIS

El presente análisis se basa en un diseño de series temporales interrumpidas , una metodología cuasi-experimental ampliamente utilizada para evaluar el impacto de intervenciones implementadas en un momento específico. Este enfoque es particularmente adecuado para estudios en entornos clínicos reales, donde la aleatorización puede no ser factible.

El estudio abarcó un período de seis años (1 de enero de 2018 – 30 de junio de 2023, pre-implantación: enero 2018 - abril 2021 y post-implantación: mayo 2021 - junio 2023), durante el cual se registraron 10.033.470 consultas externas de pacientes derivados desde atención primaria a 16 especialidades clínicas (entre las cuales se encontraban medicina interna, endocrinología, cardiología y neumología) (Álvaro de la Parra et al., 2024).

Para aislar el efecto de la intervención de las distorsiones causadas por la pandemia de COVID-19, se censuró el período entre marzo de 2020 y marzo de 2021, correspondiente a las tres primeras oleadas pandémicas en España, durante las cuales se suspendió la atención ambulatoria electiva. Tras esta depuración, el análisis incluyó 52 puntos temporales mensuales (26 preintervención y 26 postintervención) (Álvaro de la Parra et al., 2024).

Se distinguió entre grupo de intervención, pacientes atendidos en 16 especialidades clínicas donde se implementó el algoritmo de pedidos automáticos y grupo de referencia, donde se incluyeron 3 especialidades no expuestas a la intervención.

El uso de análisis de segmentación de regresión lineal permitió evaluar cambios en las pendientes y niveles de las series temporales antes y después de la intervención, controlando posibles factores de confusión como estacionalidad o tendencias preexistentes gracias a la recogida de datos mensual, integrada en los procesos hospitalarios habituales.

Se postuló que la implementación del modelo de vías clínicas automatizadas y el algoritmo basado en NLP, aumentaría la capacidad resolutoria en primera consulta y reduciría las tasas de "no asistencia"

Con respecto al procesamiento técnico y la validación del modelo se utilizó el paquete *StatsModels* de Python, con intervalos de confianza del 95% y *p* valores calculados de la misma manera (Álvaro de la Parra et al., 2024).

COMPARACIÓN ANTES Y DESPUÉS DE LA IA

Implementación

La introducción de Scribe, de las vías clínicas automatizadas y del algoritmo basado en procesamiento del lenguaje natural para la solicitud de pruebas diagnósticas (protocolos estandarizados de solicitud de pruebas para 257 condiciones clínicas diferentes, abarcando 16 especialidades médicas) en los cuatro hospitales universitarios de Madrid gestionados por Quirónsalud (H. Rey Juan Carlos, H. General de Villalba, H. Infanta Elena y H. Fundación Jiménez Díaz, denominados RED4H), ha demostrado un impacto significativo en diversos indicadores clave de eficiencia y calidad asistencial.

Como objetivos principales se han analizado cuatro indicadores clave: la capacidad para realizar el diagnóstico y el alta en la primera cita (entendiendo como alta médica, la inclusión en un programa de citas y tratamiento determinado o la inclusión en lista de espera quirúrgica), la descarga de trabajo a la atención primaria de los hospitales, la evolución temporal del ausentismo a las citas programadas y el tiempo medio global desde la derivación hasta la primera consulta. Complementariamente se ha evaluado la variación en la utilización de pruebas diagnósticas (Álvaro de la Parra et al., 2024).

Resultados post-implementación

Tabla 1. Resumen resultados post-implementación. Fuente: Álvaro de la Parra et al., 2024

Indicador	Resultado Pre-Implementación	Resultado Post-Implementación	Diferencia (Absoluta)	Impacto Acumulado
Altas en primera cita (%)	20,51%	26,11%	+5,6 puntos porcentuales	56.401 pacientes adicionales tratados
Aumento atribuible al algoritmo			19.989 pacientes (769/mes)	
Reducción de citas de seguimiento	-	-	293.954 en 26 meses (11.306/mes)	Aumento de primeras consultas (conversión)
Reducción de faltas	-	-	26.888 (1.034/mes)	Aumento de primeras consultas (conversión)
Tiempo de espera promedio (días)	60,08 días (centros públicos no participantes)	11,88 días (Los cuatro centros participantes)	-48,2 días	80,2% de reducción
Consistencia entre centros (variación)	±19,22 días (no participantes)	±0,89 días (participantes)	-18,33 días	Mayor uniformidad
Solicitudes de pruebas (global)	Nivel base (2018)	-2,67% (2023)	-2,67%	Reducción del nº total de pruebas pese a más pacientes tratados
Resonancia Magnética (RM)	-	+1,32%	+1,32%	
Tomografía Computarizada (TC)	-	+0,89%	+0,89%	Mayor detección de casos complejos
Rechazo del modelo por pacientes	-	<1%	<1%	Alta aceptación

Por último, se ha extraído también la evolución en la capacidad para realizar el diagnóstico y el alta en la primera cita mediante los resultados del año 2024, primer año en el que además de contar con los protocolos de vías clínicas automatizadas y el algoritmo basado en procesamiento del lenguaje natural para la solicitud de pruebas diagnósticas, se consolidó el uso de la herramienta Scribe, la IA que transcribe las consultas médicas. Los datos recopilados evidencian la consolidación de estrategia, se ha logrado mantener o incluso superar los porcentajes de altas en primera consulta (Quirónsalud, Gerencia).

Impacto económico implementación IA

Para evaluar el impacto económico de la implementación de IA en Quirónsalud, se ha realizado un análisis coste-beneficio basado en los resultados obtenidos durante los 26 meses posteriores a la implantación, comparados con el período equivalente previo. Se han considerado:

- Ingresos adicionales generados por mayor eficiencia (mayor capacidad de atención en primeras consultas debido a una mayor eficiencia global del sistema).
- Conversión de consultas de seguimiento a primeras consultas gracias al nuevo modelo organizativo.
- Reducción de ausencias (ingresos recuperados por conversión de ausencias a primeras consultas).

Incremento total de ingresos: 20.075.863 €

- Incremento de costes debido a las primeras consultas adicionales por mayor eficiencia global del sistema.
- Incremento neto de los costes operativos por la conversión de citas de seguimiento en primeras consultas (costes no incurridos en seguimiento y costes nuevos por primeras consultas).
- Incremento de costes operativos debido a las nuevas primeras consultas en sustitución de las ausencias evitadas.
- Aumento de eficiencia en el uso de pruebas diagnósticas.

Incremento total de costes: 3.576.953,01 €

- Resultando en un beneficio neto antes de inversión de: 16.498.909,99 €
- Teniendo en cuenta una inversión total necesaria para implementar el sistema de IA de 6.750.000 € (incluyendo desarrollo algoritmos e implementación de los sistemas empleados, formación e infraestructura y su mantenimiento; se hizo en 3 años fiscales)
- Se obtiene un beneficio neto final de: 9.748.909,99 €
- Con el que se pueden calcular las métricas financieras clave (como son el ROI y payback period). Determinando que: La implementación de IA ha generado un beneficio económico neto de 9.748.909,99 € en 36 meses, un ROI del 144,43% con período de recuperación de la inversión cada año de 8,31 meses.

Nota: Los precios monetarios para la realización de los cálculos han sido facilitados por el equipo financiero de Quirónsalud.

ANÁLISIS DE LOS RESULTADOS OBTENIDOS

Evolución de la capacidad resolutive en primera cita

La revisión de las tasas de resolución diagnóstica en primera consulta revela diferencias significativas entre los grupos analizados. En el grupo de intervención, la implementación del sistema automatizado generó un incremento estadísticamente significativo del 1.7% ($p=0.005$; IC 95%: 0.5% a 2.9%) en la proporción de pacientes que recibieron diagnóstico y plan terapéutico completo durante su primera visita, siendo dados de alta directamente a atención primaria. Este hallazgo contrasta notablemente con la evolución observada en el grupo control, donde las tasas se mantuvieron estables sin variaciones significativas durante todo el período de estudio (Álvaro de la Parra et al., 2024).

El intervalo de confianza del 95% (0.5% a 2.9%) delimita con precisión el rango probable del verdadero efecto del sistema automatizado sobre este indicador clave de eficiencia asistencial.

Estos datos demuestran que la automatización del proceso de solicitud de pruebas diagnósticas previas a la consulta especializada mejora significativamente la capacidad resolutive en la primera visita, reduciendo la necesidad de derivaciones posteriores y optimizando así el flujo de pacientes en el sistema sanitario.

Evolución de las tasas de "no asistencia"

El análisis comparativo de las tasas de inasistencia a consultas revela un efecto positivo estadísticamente significativo de la intervención automatizada. En el grupo experimental, se observó un incremento de la pendiente de reducción sostenida de las tasas de "no asistencia", alcanzando una disminución absoluta del 0.4% ($p=0.044$; IC 95%: -0.1% a -0.8%) correspondiente al efecto de la implementación del algoritmo. El grupo control, por su parte, a pesar de mostrar la tendencia decreciente observada en el grupo de intervención, mantuvo tasas consistentemente más elevadas y no experimentó dicho cambio de pendiente (Álvaro de la Parra et al., 2024).

La significación estadística ($p=0.044$) y el estrecho intervalo de confianza obtenido avalan la robustez de estos hallazgos. Estos datos apoyan la hipótesis de que la automatización de pruebas previas no solo optimiza los procesos diagnósticos, sino que además genera efectos positivos en la asistencia al reducir las ausencias injustificadas a consulta.

Citas requeridas para completar proceso diagnóstico

La evaluación del índice de seguimiento hasta la primera cita revela patrones divergentes entre los grupos de intervención y control. En el grupo que implementó el sistema automatizado, se observó una tendencia consistente a la baja en el índice de seguimiento hasta la primera cita desde la implementación, aunque esta reducción no alcanzó significación estadística. Este patrón de mejora contrasta notablemente con el grupo control, que mostró un aumento estadísticamente significativo de 0.25 ($p=0.007$, IC 95%: 0.07 a 0.44) en su índice de durante el mismo período (Álvaro de la Parra et al., 2024).

Aunque la mejora en el grupo de intervención no alcanzó significación estadística, la combinación de esta tendencia positiva con el deterioro significativo en el grupo control sugiere firmemente un efecto protector de la intervención frente al aumento natural en la demanda de seguimiento. La magnitud de las reducciones absolutas demuestra un impacto clínico relevante, más allá de los resultados estadísticos, reforzando la hipótesis de que la reducción en las citas de seguimiento está directamente relacionada con la implementación del sistema automatizado de pruebas previas.

CONCLUSIONES

Este trabajo cuantifica en números el valor estratégico de la Inteligencia Artificial como evolución de la transformación digital en el ámbito sanitario. A través del análisis del modelo implementado en los hospitales de Quirónsalud en Madrid, se constata que la integración de la IA en los procesos asistenciales es una solución para abordar los principales desafíos de los sistemas de salud actuales.

Los resultados avalan que la automatización de procesos, como el establecimiento de vías clínicas estandarizadas, combinada con técnicas de IA, como el procesamiento del lenguaje natural, generan mejoras sustanciales en la eficiencia del sistema. Entre ellas destacan la optimización del flujo de pacientes y la reducción de la variabilidad en la práctica clínica, mejorando así la capacidad resolutoria en la primera consulta, lo que tiene implicaciones directas en la experiencia del paciente y en la gestión de recursos.

La estandarización y la reducción significativa de tiempos de espera, la disminución de consultas redundantes y de ausencias en citas programadas, confirman el potencial de estas tecnologías para optimizar la asignación de recursos y mejorar la calidad asistencial. Estas mejoras son especialmente relevantes en el contexto sanitario actual, donde se requieren soluciones escalables que permitan hacer frente al incremento de la demanda con recursos limitados.

La prevalencia de las enfermedades crónicas analizadas en este trabajo evidencia la necesidad de desarrollar modelos sanitarios que implementen este tipo de tecnologías y de extender las herramientas ya existentes a otras especialidades médicas y contextos asistenciales, con el objetivo de superar las limitaciones de los sistemas tradicionales. El ejemplo de Quirónsalud demuestra que es posible la integración de la IA en la práctica clínica habitual y que su desarrollo puede beneficiar a pacientes y a profesionales sanitarios, al mismo tiempo que mejora los resultados empresariales.

Palabras clave: Inteligencia Artificial, Enfermedades crónicas, Transformación digital, Gestión sanitaria, Eficiencia clínica, Quirónsalud y Automatización.

Optimization of clinical protocols for chronic pathologies through the use of artificial intelligence

Author: Álvaro Orfila, Alejandro.

Director: Alarcón Massó, Luis.

Collaborating Institution: Quirónsalud, S.A.

ABSTRACT

INTRODUCTION

Artificial intelligence (AI) is proving to be one of the most revolutionary tools of the 21st century, impacting numerous sectors and transforming the way they operate. The healthcare sector is particularly receptive to the incorporation of AI-based technologies given their potential to optimize processes that improve clinical decision-making and raise standards of patient care.

In recent decades, increased life expectancy and population growth have overwhelmed healthcare systems around the world. This situation is exacerbated by the high prevalence of chronic diseases such as diabetes, heart failure, chronic obstructive pulmonary disease (COPD), and AIDS. The World Health Organization (WHO) estimates that chronic diseases are responsible for 71% of all deaths globally, making it essential to develop effective strategies to address them (Araújo-de Carvalho et al., 2022).

The industrialization of clinical processes through AI will be addressed by conducting an analysis that will include a comparison of results before and after the implementation of AI, an assessment of its impact on the patient experience, and an exploration of the possibilities of this tool in prehospital care, during hospitalization, and in follow-up care.

This project will be carried out in collaboration with Quirónsalud, a leading healthcare organization that will provide access to real clinical data, facilitating a practical view of how AI is integrated into existing hospital workflows and thus allowing its impact on efficiency to be evaluated.

This Master's thesis is directly aligned with several Sustainable Development Goals (SDGs) set out in the United Nations 2030 Agenda, focusing on the promotion of well-being and technological innovation in the healthcare sector (Naciones Unidas, s.f.).

STATE OF THE ART

The use of artificial intelligence (AI) in medicine is one of the most promising and revolutionary areas of modern technology. AI's ability to analyze large volumes of data, learn from them, and make accurate predictions has enabled its application in various fields of healthcare, including chronic disease management (Tarumi et al., 2021).

This is the case with diabetes, which has become one of the most serious and common chronic diseases today (Sun et al., 2022), where one of the most relevant applications of AI is the classification of patients into subgroups with similar clinical characteristics, allowing for personalized treatment and improved health outcomes (Manzini, Garrido-Aguirre, & Perera-Lluna, 2022).

With a global prevalence of over 300 million cases and an annual mortality rate of approximately 3 million people, COPD has become the third leading cause of death worldwide and the eighth leading cause of years of life lost (Stolz et al., 2022). Artificial intelligence can improve the diagnosis, staging, and management of the disease, especially through the analysis of medical images such as computed tomography (Wu et al., 2024).

HIV remains one of the greatest challenges to global public health, with more than 40 million people living with it (World Health Organization, 2023). One promising tool for improving access to diagnosis is HIV self-testing, recommended by the World Health Organization (WHO). Artificial intelligence is a potential solution for improving the accuracy of HIV self-testing interpretation (Roche et al., 2024).

Heart failure is one of the leading causes of hospitalization and cardiovascular mortality in Europe and the US, with prevalence varying significantly between countries due to differences in risk factors, population aging, and access to medical care (Rosano et al., 2022). In the field of cardiac imaging and in the management of complex conditions such as heart failure, AI has proven capable of optimizing image acquisition and processing (Loncaric et al., 2021).

STRATEGY FOR TRANSFORMING THE HEALTHCARE MODEL AT QUIRÓNSALUD

Quirónsalud's strategy represents a successful model for the digital and organizational transformation of healthcare systems. It is based on a synergy between the analysis of large volumes of data (Big Data) and the application of Artificial Intelligence (AI) systems, creating a standardized, clinically consensus-based, and highly efficient healthcare model (Quirónsalud, UICO, 2022).

Pre-care (“before”)

The pre-care phase is the foundation of the model's transformation, aimed at eliminating downtime and ensuring that patients have access to the first specialist consultation with all the necessary diagnostic information (Quirónsalud, UICO, 2022).

Quirónsalud redefines this traditional flow by anticipating the performance of diagnostic tests before the first consultation with the specialist. This approach is based on previously validated protocols that determine the necessary complementary tests based on the reason for referral and the patient's characteristics. In this way, the first consultation becomes a decisive act, comparable to the second consultation in the traditional model, as the specialist has all the required diagnostic information from the outset.

A catalog of automated clinical pathways is integrated into hospital operations through a tool called Case Manager (Command Center) on the Casiopea platform (the computer system used by the company in its centers).

A standardized protocol is followed, based on guided forms and digital tools, which allows the precise reason for the consultation to be determined and the corresponding protocols to be applied systematically. Using an AI system that employs a dictionary of keywords derived from previous analysis, it automatically assigns the protocol corresponding to the reason for referral. This is an NLP algorithm that analyzes the text and automatically assigns the corresponding protocol (Quirónsalud, Dirección General Corporativa, 2023).

Hospital care (“during”)

The hospital care phase seeks to transform traditional consultations into decisive processes, reducing variability and improving efficiency. In addition to automated clinical pathways that continue to improve this phase of the process, the automation of clinical documentation through natural language processing is made possible by the Scribe Model, an AI that transcribes medical consultations. The system records the conversation between doctor and patient, whether in face-to-face or remote consultations, converting the dialogue into text.

The transcription is processed by an agnostic AI engine (currently based on ChatGPT, but designed to be interoperable with other models). This engine identifies:

- o Relevant clinical entities: symptoms, diagnoses, previous treatments.
- o Derived actions: requests for tests (X-rays, blood tests) and prescriptions (paracetamol 1g/8h).

The output is organized into predefined medical record forms, combining natural language with structured fields. Scribe generates suggestions for action (requests, prescriptions), but the final decision always rests with the physician, who can modify them, add comments, or reject them.

Scribe emerges as a technological solution to automate clinical documentation, freeing the physician from the bureaucratic burden associated with medical records. In addition, it is a clinical decision support system and its current function includes issuing diagnostic or therapeutic recommendations.

One of Scribe's distinguishing features is its ability to allow the physician to maintain eye contact with the patient, eliminating the need to type during the consultation. The system also allows previous healthcare interactions to be leveraged, simulating the dynamics of a physician guiding a resident (Quirónsalud, Dirección Técnica).

Post-care (“after”)

The post-care approach prioritizes tangible results and the patient experience, closing the care cycle. E-Res Salud was conceived as a configurable and scalable system, integrated into the electronic medical record of the Quirónsalud network, with the aim of:

1. Collecting standardized data on health outcomes and patient experiences.
2. Facilitate data-driven decision-making at both the clinical and managerial levels.
3. Improve patient-centered care through personalized treatments and doctor-patient communication.

Patient-reported outcome measures (PROMs) and patient-reported experience measures (PREMs) have become fundamental tools for evaluating the quality of care from the patient's perspective. E-Res Salud operates through the Quirónsalud Patient Portal, a web platform linked to the EHR:

- o Patients are enrolled in the program by their physicians.
- o Questionnaires are sent automatically at key moments (e.g., at diagnosis, during treatment, at follow-up).
- o Responses are integrated directly into the EHR and a centralized database (Rodríguez et al., 2023).

ETHICAL AND LEGAL FRAMEWORK

The implementation of artificial intelligence tools in the healthcare sector requires strict compliance with legal regulations and ethical principles that guarantee both patient protection and the clinical validity of automated processes. The regulatory and ethical framework that Quirónsalud has had to consider for the implementation of its automated clinical pathways includes:

1. European and national regulations governing the use of healthcare data and AI systems, which are:
 - The General Data Protection Regulation (European Union, 2016).
 - EU Regulation 2024/1689 (Unión Europea, 2024).
 - The Organic Law on Personal Data Protection and Guarantee of Digital Rights (Gobierno de España, 2018).
2. The specific requirements of the Spanish healthcare sector:
 - Law 41/2002 (Gobierno de España, 2002).
 - Law 44/2003 (Gobierno de España, 2003).

3. The professional ethical principles set out in the Code of Medical Ethics (Consejo General de Colegios Médicos, 2022) and the International Code of Medical Ethics of the World Medical Association (World Medical Association, 2018).
4. The security and governance mechanisms implemented by the Spanish Agency for the Supervision of Artificial Intelligence, AESIA (Gobierno de España, 2023).

TECHNICAL INTEGRATION

AI integration in daily practice

The integration of AI into Quirónsalud's daily practice takes place through a tool developed for adherence to automated care pathways. The tool relies on artificial intelligence to analyze relevant information from patients' medical records to propose the appropriate care pathway.

Communication with GPT4-, the AI engine used, is built using code developed in Python. This implements a system for processing medical reports using the OpenAI API (a programming interface that allows the integration of advanced artificial intelligence models and, in this case, functions as a “digital assistant” that processes medical language). The system receives and processes unstructured data, which consists of consultation transcripts, the config.json configuration file encoding the decision tree logic for each clinical pathway, and specific prompts (contextual instructions) for patient adherence to each pathway.

In collaboration with Quirónsalud, the AI-based system has been further developed by designing a prompt to improve adherence to the COPD clinical pathway through the automated processing of medical reports.

Privacy aspects

Among the available solutions, advanced pseudo-anonymization stands out as a method that strikes the right balance between security and functionality, which is why it was chosen by the company. This process consists of removing direct personal data (such as names, medical record numbers, ID numbers, or health cards) and replacing it with random tokens, while maintaining the possibility of reversibility when necessary.

The pseudo-anonymization process comprises three fundamental stages:

1. Identification of sensitive fields
2. Data replacement:
 - Each indicator is replaced by a unique token generated automatically
 - The correspondence between the token and the original data is recorded in a table

Critical aspects to consider:

- o Level of token complexity: The complexity of the token depends on the degree of protection desired.
 - o Strict protection of the correspondence table (advanced encryption, access control).
3. Generation of anonymized output:
 - o Production of documents suitable for processing by diagnostic AI systems
 - o Complete isolation of the original data and its correspondence

In the development of AI systems for medical diagnosis, in addition to pseudo-anonymization, other technical measures are implemented to ensure protection, including data minimization, a technique aligned with the principle of “privacy by design” (limiting data processing to what is strictly necessary), data encryption in communications between components and data storage at rest, access control and authentication, and activity logging (Quirónsalud, Dirección Técnica).

ANALYSIS METHODOLOGY

This analysis is based on an interrupted time series design, a quasi-experimental methodology widely used to evaluate the impact of interventions implemented at a specific point in time. This approach is particularly suitable for studies in real clinical settings, where randomization may not be feasible.

The study covered a six-year period (January 1, 2018 – June 30, 2023, pre-implementation: January 2018 – April 2021 and post-implementation: May 2021 – June 2023), during which 10,033,470 outpatient visits were recorded for patients referred from primary care to 16 clinical specialties (including internal medicine, endocrinology, cardiology, and pulmonology) (Álvaro de la Parra et al., 2024).

To isolate the effect of the intervention from the distortions caused by the COVID-19 pandemic, the period between March 2020 and March 2021, corresponding to the first three pandemic waves in Spain, during which elective outpatient care was suspended, was censored. After this purification, the analysis included 52 monthly time points (26 pre-intervention and 26 post-intervention) (Álvaro de la Parra et al., 2024).

A distinction was made between the intervention group, patients treated in 16 clinical specialties where the automatic ordering algorithm was implemented, and the reference group, which included three specialties not exposed to the intervention.

The use of linear regression segmentation analysis allowed for the evaluation of changes in the slopes and levels of the time series before and after the intervention, controlling for possible confounding factors such as seasonality or pre-existing trends thanks to monthly data collection, integrated into routine hospital processes.

It was proposed that the implementation of the automated clinical pathway model and the NLP-based algorithm would increase the resolution capacity in the first consultation and reduce “no-show” rates.

With regard to technical processing and model validation, the Python StatsModels package was used, with 95% confidence intervals and *p* values calculated in the same way (Álvaro de la Parra et al., 2024).

COMPARISON BEFORE AND AFTER AI

Implementation

The introduction of Scribe, automated clinical pathways, and the natural language processing-based algorithm for diagnostic test requests (standardized test request protocols for 257 different clinical conditions, covering 16 medical specialties) in the four university hospitals in Madrid managed by Quirónsalud (H. Rey Juan Carlos, H. General de Villalba, H. Infanta Elena, and H. Fundación Jiménez Díaz, known as RED4H) has had a significant impact on various key indicators of efficiency and quality of care.

Four key indicators were analyzed as the main objectives: the ability to make a diagnosis and discharge the patient at the first appointment (understanding medical discharge to mean inclusion in a specific appointment and treatment program or inclusion on a surgical waiting list), the reduction of workload for primary care in hospitals, the temporal evolution of absenteeism from scheduled appointments, and the overall average time from referral to the first consultation. In addition, the variation in the use of diagnostic tests was evaluated (Álvaro de la Parra et al., 2024).

Post-implementation results

Tabla 2. Summary of post-implementation results. Source: Álvaro de la Parra et al., 2024

Indicator	Pre-Implementation result	Post-Implementation result	Difference (Absolute)	Cumulative Impact
First appointment registrations (%) Increase attributable to the algorithm	20,51%	26,11%	+5,6 percentage points 19.989 patients (769/month)	56.401 additional patients treated
Reduction in follow-up appointments	-	-	293.954 en 26 months (11.306/month)	Increase in first consultations (conversión)
Reduction in absences	-	-	26.888 (1.034/month)	Increase in first consultations (conversión)
Average waiting time (days)	60,08 days (non-participating public centers)	11,88 days (The four participating centers)	-48,2 days	80,2% reduction
Consistency between centers (variation)	±19,22 days (non participants)	±0,89 days (participants)	-18,33 days	Greater uniformity
Tests requests (overall)	Nivel base (2018)	-2,67% (2023)	-2,67%	Reduction in the total number of tests despite more patients treated
Magnetic resonance imaging (MRI)	-	+1,32%	+1,32%	
Computed tomography (CT)	-	+0,89%	+0,89%	Higher detection of complex cases
Rejection of the model by patients	-	<1%	<1%	High acceptance

Finally, the evolution in the ability to make a diagnosis and discharge patients at the first appointment was also extracted from the results for 2024, the first year in which, in addition to having automated clinical pathway protocols and the natural language processing-based algorithm for requesting diagnostic tests, the use of the Scribe tool, the AI that transcribes medical consultations, was consolidated. The data collected shows the consolidation of the strategy, with the percentages of discharges at the first consultation being maintained or even exceeded (Quirónsalud, Management).

Economic impact of AI implementation

To assess the economic impact of AI implementation at Quirónsalud, a cost-benefit analysis was performed based on the results obtained during the 26 months following implementation, compared with the equivalent period prior to implementation. The following were considered:

- Additional revenue generated by greater efficiency (greater capacity for first consultations due to greater overall system efficiency).
- Conversion of follow-up consultations to initial consultations thanks to the new organizational model.
- Reduction in absences (revenue recovered by converting absences to initial consultations).

Total increase in revenue: € 20,075,863

- Increase in costs due to additional initial consultations as a result of greater overall system efficiency.
- Net increase in operating costs due to the conversion of follow-up appointments to initial consultations (costs not incurred in follow-up and new costs for initial consultations).
- Increase in operating costs due to new initial consultations replacing avoided absences.
- Increased efficiency in the use of diagnostic tests.

Total increase in costs: € 3,576,953.01

- Resulting in a net profit before investment of: € 16,498,909.99
- Taking into account a total investment of € 6,750,000 required to implement the AI system (including algorithm development and implementation of the systems used, training, infrastructure, and maintenance; carried out over three fiscal years)
- The final net profit is: € 9,748,909.99
- With which key financial metrics (such as ROI and payback period) can be calculated. Determining that: The implementation of AI has generated a net economic profit of € 9,748,909.99 in 36 months, an ROI of 144.43% with an annual payback period of 8.31 months.

Note: The monetary prices used to perform the calculations were provided by the Quirónsalud finance team.

ANALYSIS OF THE RESULTS OBTAINED

Evolution of the resolution capacity at the first appointment

The review of the diagnostic resolution rates at the first consultation reveals significant differences between the groups analyzed. In the intervention group, the implementation of the automated system generated a statistically significant increase of 1.7% ($p=0.005$; 95% CI: 0.5% to 2.9%) in the proportion of patients who received a diagnosis and complete treatment plan during their first visit, being discharged directly to primary care. This finding contrasts sharply with the evolution observed in the control group, where rates remained stable without significant variations throughout the study period (Álvaro de la Parra et al., 2024).

The 95% confidence interval (0.5% to 2.9%) accurately delimits the probable range of the true effect of the automated system on this key indicator of healthcare efficiency.

These data demonstrate that automating the process of requesting diagnostic tests prior the specialist consultation, significantly improves the resolution capacity at the first visit, reducing the need for subsequent referrals and thus optimizing patient flow in the healthcare system.

Evolution of “no-show” rates

The comparative analysis of consultation no-show rates reveals a statistically significant positive effect of the automated intervention. In the experimental group, there was an increase in the sustained reduction slope of “no-show” rates, reaching an absolute decrease of 0.4% ($p=0.044$; 95% CI: -0.1% to -0.8%) corresponding to the effect of implementing the algorithm. The control group, on the other hand, despite showing the downward trend observed in the intervention group, maintained consistently higher rates and did not experience such a change in slope (Álvaro de la Parra et al., 2024).

The statistical significance ($p=0.044$) and the narrow confidence interval obtained support the robustness of these findings. These data support the hypothesis that the automation of preliminary tests not only optimizes diagnostic processes but also has positive effects on attendance by reducing unjustified absences from appointments.

Appointments required to complete the diagnostic process

The evaluation of the follow-up rate until the first appointment reveals divergent patterns between the intervention and control groups. In the group that implemented the automated system, a consistent downward trend in the follow-up rate until the first appointment was observed since implementation, although this reduction did not reach statistical significance. This pattern of improvement contrasts sharply with the control group, which showed a statistically significant increase of 0.25 ($p=0.007$, 95% CI: 0.07 to 0.44) in its rate during the same period (Álvaro de la Parra et al., 2024).

Although the improvement in the intervention group did not reach statistical significance, the combination of this positive trend with the significant deterioration in the control group strongly suggests a protective effect of the intervention against the natural increase in follow-up demand. The magnitude of the absolute reductions demonstrates a clinically relevant impact, beyond the statistical results, reinforcing the hypothesis that the reduction in follow-up appointments is directly related to the implementation of the automated pre-testing system.

CONCLUSIONS

This study quantifies the strategic value of artificial intelligence as an evolution of digital transformation in the healthcare sector. Through analysis of the model implemented in Quirónsalud hospitals in Madrid, it has been found that the integration of AI into healthcare processes is a solution for addressing the main challenges facing current healthcare systems.

The results confirm that process automation, such as the establishment of standardized clinical pathways, combined with AI techniques, such as natural language processing, generate substantial improvements in system efficiency. These include optimizing patient flow and reducing variability in clinical practice, thereby improving the ability to resolve issues at the first consultation, which has direct implications for the patient experience and resource management.

Standardization and significant reduction in waiting times, fewer redundant consultations, and fewer missed appointments confirm the potential of these technologies to optimize resource allocation and improve the quality of care. These improvements are especially relevant in the current healthcare context, where scalable solutions are needed to cope with increased demand with limited resources.

The prevalence of the chronic diseases analyzed in this study highlights the need to develop healthcare models that implement these types of technologies and that extend existing tools to other medical specialties and healthcare contexts, with the aim of overcoming the limitations of traditional systems. The example of Quirónsalud demonstrates that it is possible to integrate AI into routine clinical practice and that its development can benefit patients and healthcare professionals, while also improving business results.

Keywords: Artificial Intelligence, Digital Transformation, Healthcare Management, Chronic Diseases, Clinical Efficiency, Quirónsalud and Automation.

1. Capítulo I: Estructura del Trabajo

1.1 Introducción

La inteligencia artificial (IA) está demostrando ser una de las herramientas más revolucionarias del siglo XXI, impactando en numerosos sectores y transformando la manera en la que operan. El ámbito sanitario es particularmente receptivo a la incorporación de tecnologías basadas en IA dado su potencial para optimizar procesos que mejoren la toma de decisiones clínicas y eleven los estándares de atención al paciente. Este Trabajo de Fin de Máster se centrará en explorar cómo la inteligencia artificial puede ser aplicada para la industrialización de procesos clínicos, concretamente en el manejo de patologías crónicas, con el objetivo de contribuir al progreso del sistema sanitario y al bienestar de los pacientes.

En las últimas décadas, el aumento de la esperanza de vida y el crecimiento poblacional han sobrecargado los sistemas de salud en todo el mundo. Esta situación se agrava con la alta prevalencia de enfermedades crónicas como son la diabetes, la insuficiencia cardíaca, la enfermedad pulmonar obstructiva crónica (EPOC) y el sida.

Las enfermedades crónicas representan uno de los mayores desafíos para los sistemas de salud en todo el mundo. La Organización Mundial de la Salud (OMS) estima que las enfermedades crónicas son responsables del 71% de todas las muertes a nivel global, motivo que hace esencial desarrollar estrategias efectivas para enfrentarlas. Estas patologías requieren un cuidado continuo para prevenir complicaciones y preservar la calidad de vida de los pacientes. La IA puede desempeñar un papel crucial en la optimización de los recursos, la reducción de los costes y la mejora de los resultados médicos, pues está demostrando ser una de las respuestas más prometedoras (Araújo-de Carvalho et al., 2022).

Este proyecto se llevará a cabo en colaboración con Quirónsalud, una organización sanitaria líder que proporcionará acceso a datos clínicos reales facilitando una visión práctica de cómo la IA puede transformar la gestión de patologías crónicas. Se podrá así evaluar cómo estas tecnologías se integran en flujos hospitalarios existentes y determinar si mejoran o no la eficiencia y la personalización de los servicios médicos.

Se abordará la industrialización de procesos clínicos mediante IA realizando un análisis que incluirá una comparación de resultados antes y después de la implementación de la IA, una evaluación de su impacto en la experiencia del paciente y se explorarán las posibilidades de esta herramienta tanto en la prevención como en el seguimiento posterior a la hospitalización.

Además, se realizará una reflexión crítica sobre las oportunidades futuras examinando cómo las estrategias y herramientas utilizadas por la empresa y analizadas en este proyecto, pueden aplicarse a otros procesos hospitalarios, en beneficio de los sistemas de salud y sus pacientes.

1.2 Motivación

La aplicación de la IA en la medicina tiene el potencial de transformar la calidad de la atención médica mediante la mejora de la precisión de los diagnósticos gracias al análisis de datos clínicos, genéticos y de comportamiento. Esto es particularmente importante en el manejo de enfermedades crónicas, pues un diagnóstico preciso y temprano puede marcar la diferencia entre un tratamiento efectivo y una progresión no controlada de la enfermedad.

Por otro lado, la IA mediante el análisis combinado de los datos clínicos del paciente y sus hábitos y limitaciones facilita la adaptación de los tratamientos a las características individuales del mismo. Esto mejora la eficacia del tratamiento y reduce el riesgo de efectos secundarios y complicaciones debidas a su incumplimiento. Por ejemplo, en el manejo de la diabetes, los algoritmos de IA pueden ajustar las dosis de insulina en función de los niveles de glucosa en sangre y otros factores, mejorando el control de la enfermedad.

Desde una perspectiva personal, el interés en este proyecto surge del deseo de contribuir de la manera en la que sea posible a la mejora de la calidad de vida de los pacientes que enfrentan enfermedades crónicas. Estas condiciones no solo afectan a quienes las padecen, sino también a sus familias, al imponerles cargas emocionales y financieras. Profesionalmente, el proyecto representa una oportunidad para analizar la aplicación de la IA a un problema de alto impacto social, permitiendo la divulgación de soluciones tecnológicas que trasciendan el ámbito académico para tener un impacto real en la vida de las personas.

El proyecto también contribuye a uno de los grandes objetivos de la inteligencia artificial, su integración ética y efectiva en sectores sensibles como la salud. Un paso clave para generar confianza en estas tecnologías y asegurar su adopción generalizada es la implementación de modelos de IA que respeten la privacidad y seguridad de los datos a la vez que ofrezcan resultados clínicos significativos, como se demostrará que es el caso de Quirónsalud mediante el análisis de los resultados.

Este trabajo busca dar visibilidad al esfuerzo hecho por la empresa Quirónsalud para sentar las bases para un cambio en el manejo de enfermedades crónicas, que beneficie a los pacientes y también prepare a los sistemas de salud para enfrentar los desafíos de gestión que estas suponen. Los procesos analizados en este proyecto podrán servir como modelo para la implementación de soluciones similares en otras áreas de la medicina, ampliando el alcance de la IA y acelerando su adopción a nivel global.

Por lo tanto, la motivación para la realización de este proyecto proviene de una combinación del impacto social, la innovación tecnológica y el compromiso con el desarrollo sostenible. La aplicación de la IA para mejorar la atención sanitaria responde a la necesidad actual de conseguir que la medicina sea más eficiente, accesible y personalizada.

1.3 Objetivos del proyecto

Objetivos Principales:

1. Visibilizar el trabajo de la empresa colaboradora en el ámbito de la IA sanitaria

La empresa colaboradora desempeña un papel clave en la innovación tecnológica aplicada al sector de la salud. Este proyecto busca destacar sus aportes mediante un análisis de sus herramientas y soluciones, demostrando cómo estas contribuyen a la optimización de los procesos clínicos. A través de la recopilación de datos, la revisión de casos de éxito y la evaluación de su impacto en pacientes y sistemas sanitarios, se pretende posicionar a la empresa como un referente en la implementación de IA en el ámbito de las enfermedades crónicas.

Este objetivo también responde a la necesidad de conectar el conocimiento académico con las actividades empresariales. Además, esta exposición puede abrir nuevas oportunidades para futuras colaboraciones y proyectos de investigación.

2. Evaluar el impacto de la IA en la experiencia del paciente y los resultados clínicos

El proyecto busca medir cómo la implementación de IA puede transformar la experiencia del paciente y mejorar los resultados clínicos. Este objetivo implica una comparación detallada de los procesos hospitalarios antes y después de la adopción de soluciones basadas en IA, evaluando aspectos como:

- Reducción de tiempos de espera y hospitalización.
- Optimización del uso de los recursos hospitalarios
- Mejora en la adherencia al tratamiento gracias a herramientas personalizadas.
- Impacto en la calidad de vida de los pacientes, tanto durante su hospitalización como en el seguimiento a largo plazo.

1.4 Alineación con los Objetivos de Desarrollo Sostenible (ODS)

Este TFM se alinea directamente con varios Objetivos de Desarrollo Sostenible (ODS) planteados por la Agenda 2030 de las Naciones Unidas, centrándose en la promoción del bienestar y en la innovación tecnológica en el sector sanitario. La integración de herramientas de inteligencia artificial (IA) en la gestión de enfermedades crónicas tiene implicaciones positivas para los sistemas de salud, permitiendo que este proyecto contribuya a la consecución de diferentes ODS:

ODS 3: Salud y Bienestar

Objetivo: Garantizar una vida sana y promover el bienestar para todos en todas las edades.

Este proyecto se alinea con este objetivo mediante:

- **Prevención proactiva:**

Los sistemas predictivos de IA permiten anticipar parte de las crisis producidas por enfermedades crónicas, promoviendo una gestión más eficiente y reduciendo la mortalidad asociada a estas condiciones (Tarumi et al., 2021).

- **Mejora en la atención médica a enfermedades crónicas:**

Al emplear IA para optimizar el manejo de patologías como la diabetes, la insuficiencia cardíaca, la EPOC y el VIH/SIDA, se reducen los tiempos de diagnóstico, se facilita la personalización de los tratamientos y se previenen complicaciones. Esto mejora la calidad de vida de los pacientes y reduce las hospitalizaciones evitables y la carga sobre los sistemas de salud (Dorado-Díaz et al., 2019).

- **Atención centrada en el paciente:**

Herramientas digitales combinadas con aplicaciones móviles y dispositivos de monitorización remota, hacen posible el acceso a servicios de salud personalizados, empoderando a los pacientes y mejorando su adherencia al tratamiento.

- Reducción de la mortalidad:

Las enfermedades crónicas son responsables de un alto porcentaje de las muertes en todo el mundo. Al mejorar los diagnósticos y personalizar los tratamientos, el proyecto tiene el potencial de reducir las tasas de mortalidad asociadas con estas patologías.

- Promoción del bienestar:

Además de reducir la mortalidad, la optimización de los protocolos clínicos puede mejorar la calidad de vida de los pacientes con enfermedades crónicas. La personalización de los tratamientos, la monitorización continua y la detección temprana permiten un mejor manejo de los síntomas, reduciendo los efectos de las enfermedades en la vida diaria de los pacientes y promoviendo su bienestar general.

ODS 9: Industria, Innovación e Infraestructura

Objetivo: Construir infraestructuras resilientes, promover la industrialización inclusiva y sostenible y fomentar la innovación.

El proyecto también se alinea con el ODS 9 al fomentar la innovación tecnológica en el sector sanitario:

- Desarrollo de infraestructuras digitales y fomento de la innovación tecnológica:

La implementación de soluciones basadas en IA requiere de inversión en una base tecnológica compuesta por sistemas de almacenamiento y análisis de datos que pueden servir para futuras innovaciones en salud. El uso de IA en la medicina puede transformar la forma en que se gestionan las enfermedades crónicas.

- Industrialización de procesos clínicos:

Este proyecto analizará la automatización de tareas administrativas y clínicas repetitivas, con el objetivo de aumentar la eficiencia de los hospitales y facilitar que los profesionales de la salud dediquen más tiempo a la atención directa de los pacientes.

- Desarrollo de infraestructuras sanitarias y apoyo a la industrialización inclusiva:
La implementación de sistemas de IA en los entornos clínicos requiere la digitalización de las historias clínicas, la integración de sistemas de monitorización y el desarrollo de plataformas de análisis de datos. Por lo tanto, es necesaria la creación y el mantenimiento de infraestructuras tecnológicas avanzadas que mejoren la eficiencia operativa y que aseguran que los avances en la medicina estén disponibles y sean accesibles para todos los pacientes, beneficiando a la sociedad en su totalidad (Naciones Unidas, s.f.).

1.5 Metodología de trabajo

1. Revisión bibliográfica:
 - Identificación de fuentes relevantes, publicaciones académicas y científicas:
Artículos científicos, estudios de casos y documentación técnica sobre el uso de IA en la optimización de procesos clínicos y en la gestión de patologías crónicas, centrándose en herramientas y técnicas aplicadas al tratamiento de la diabetes, la insuficiencia cardíaca, la EPOC y el VIH.
2. Recopilación y organización de la información proporcionada por la empresa colaboradora:
 - Análisis de datos e informes internos: Revisión de la información proporcionada por la empresa, incluyendo detalles de la optimización realizada, resultados obtenidos y metodologías empleadas. Recopilación de informes, protocolos y documentación técnica proporcionada por Quirónsalud.
 - Entrevistas con Profesionales de la Salud: Realización de entrevistas con médicos, especialistas y profesionales de Quirónsalud para obtener información sobre los procesos optimizados. Comunicación directa con expertos de la empresa para aclarar dudas y complementar la documentación.

3. Documentación y análisis de los procesos optimizados

En esta fase se realiza una descripción detallada de los procesos optimizados:

- Desglose de los procesos clínicos: Detallar cómo se han implementado las soluciones de IA en los flujos hospitalarios.
- Comparaciones pre y post-implementación: Destacar las diferencias entre los resultados obtenidos antes y después de la introducción de la IA, apoyándose en los datos disponibles.
- Evaluación de la optimización de procesos: Análisis de los datos proporcionados para evaluar los beneficios y mejoras obtenidas tras la implementación de IA. Identificar y analizar los aspectos como la reducción de tiempos, mejoras en la precisión diagnóstica y optimización de recursos.
- Análisis estadístico de regresión: Se realizará un análisis estadístico de regresión para poder determinar y cuantificar la relación entre las variables optimizadas y los cambios implementados.

1.6 Recursos empleados

Bibliografía y documentos proporcionados por la empresa colaboradora:

1. Documentación y datos clínicos
 - Informes y protocolos: Documentos internos de Quirónsalud que describen los procedimientos de optimización realizados de los procesos hospitalarios de las enfermedades crónicas y los resultados obtenidos tras la implementación de IA.
 - Bases de datos clínicas: Acceso a los datos clínicos históricos y actuales que se han utilizado para optimizar los protocolos. Estos datos serán anónimos y cumplirán con todas las normativas de privacidad y ética médica.

Recursos humanos

1. Equipo de apoyo
 - Tutor académico: Profesor que guiará y supervisará el proceso de documentación, proporcionando orientación y retroalimentación.

- Mentores en Quirónsalud: Profesionales de Quirónsalud con experiencia en la implementación de IA en protocolos clínicos, quienes proporcionarán información detallada y acceso a los datos necesarios.

2. Equipo de revisión

- Profesionales de la salud: Médicos y especialistas que revisarán la documentación clínica para garantizar que se alinee con las prácticas médicas actuales y los objetivos del proyecto.

1.7 Desarrollo

Capítulo II: Análisis contextual

Este capítulo examina el papel transformador de la Inteligencia Artificial (IA) en el sector sanitario, con especial énfasis en su aplicación para abordar enfermedades crónicas de alta prevalencia global. Se organiza en cuatro secciones y cada una integra datos epidemiológicos, introduciendo las cuatro enfermedades crónicas seleccionadas, su prevalencia y las aplicaciones de la IA en ellas.

Capítulo III: Industrialización de procesos clínicos mediante IA

Este capítulo muestra el rol de Quirónsalud como alianza estratégica para el desarrollo del proyecto, contextualiza los desafíos del sistema sanitario actual y la respuesta dada por la empresa mediante su modelo asistencial, implementado en cuatro hospitales universitarios madrileños (RED4H) y que representa un caso de éxito en transformación digital.

Se describe la estrategia de la compañía, sustentada en tres pilares: pre-asistencia (protocolos automatizados de pruebas diagnósticas), asistencia (vías clínicas estandarizadas con NLP) y post-asistencia (evaluación continua mediante la plataforma E-Res Salud).

Se lleva a cabo un análisis del marco ético y legal y se aborda la integración técnica de la IA en la práctica clínica.

Capítulo IV: Contribución propia al sistema de Quirónsalud

En colaboración con Quirónsalud se ha continuado desarrollando el sistema basado en inteligencia artificial mediante el diseño de un prompt para mejorar la adherencia a la vía clínica de EPOC mediante el procesamiento automatizado de informes médicos.

Capítulo V: Metodología de análisis

En este capítulo se presenta el marco metodológico del estudio, comenzando por el contexto y población analizada, seguido de la descripción detallada de la intervención implementada. Se especifican las variables clave y métricas de evaluación utilizadas, junto con las consideraciones metodológicas adoptadas. Asimismo, se analizan las fortalezas y limitaciones del diseño de investigación, se formula la hipótesis principal y, finalmente, se describe el proceso de tratamiento y análisis de los datos recopilados.

Capítulo VI: Comparación antes y después de la IA

Se cuantifican los efectos de la estrategia de la empresa comparando los resultados antes y después de la implementación del sistema de vías clínicas automatizadas e IA, mediante el análisis de indicadores clave (diagnóstico y alta en primera cita, citas de seguimiento evitables, tasas de "no asistencia", tiempo medio global desde la derivación hasta la primera consulta y utilización de pruebas diagnósticas). Se realiza un análisis económico mediante la conversión monetaria de los resultados obtenidos, estudiando costes e ingresos.

Capítulo VII: Análisis de los resultados obtenidos

Evalúa el impacto de la implementación de vías clínicas automatizadas en el sistema sanitario de Quirónsalud, empleando una metodología de series temporales interrumpidas.

Capítulo VIII: Conclusiones

Este último apartado del trabajo concluye cómo la implementación de inteligencia artificial en el ámbito sanitario ha generado mejoras significativas tanto en la eficiencia operativa como en los resultados clínicos.

2. Capítulo II: Análisis Contextual

2.1 Aplicaciones de la Inteligencia Artificial en medicina

La inteligencia artificial (IA) ha emergido como una de las tecnologías más transformadoras del siglo XXI, y su impacto en el ámbito de la medicina y la salud es particularmente significativo. A medida que la IA continúa evolucionando, su integración en el sector sanitario está redefiniendo la forma en que se diagnostican, tratan y gestionan las enfermedades, así como la manera en que los profesionales de la salud interactúan con los pacientes, ofreciendo nuevas perspectivas y soluciones para abordar desafíos clínicos complejos.

Gracias a su capacidad para procesar grandes volúmenes de datos está convirtiéndose en un aliado en la mejora de la atención médica. La adopción y desarrollo de la IA en la medicina se han acelerado en las últimas décadas gracias a avances en el procesamiento de información, el aprendizaje automático (*Machine Learning*) y la disponibilidad de grandes volúmenes de información médica (Gómez-González et al., 2020).

.

Dicha capacidad de procesamiento y análisis rápido y preciso es uno de los factores clave que han impulsado la expansión de la IA. Esto es especialmente relevante en un contexto en el que la medicina se está moviendo hacia un enfoque más personalizado, donde el tratamiento y la prevención de enfermedades se basan en las características individuales de cada paciente, como su perfil genético, estilo de vida y entorno (Gómez-González et al., 2020).

Además, la capacidad de procesar y analizar estos datos en tiempo real ha abierto nuevas posibilidades en aplicaciones que requieren respuestas inmediatas, como la monitorización de pacientes o la gestión de sistemas inteligentes (Gómez-González et al., 2020).

Con el objetivo de empezar a introducir el grado de madurez y aplicación de la IA en la medicina, la Tabla 1 presenta diversas aplicaciones de la IA en el sector sanitario, asociando a cada tecnología su aproximado nivel de disponibilidad tecnológica (NDT) y clasificando el desarrollo de las innovaciones desde su concepción teórica hasta su implementación masiva en los siguientes niveles:

- NDT 0: Estado desconocido. No se considera factible según las referencias disponibles.
- NDT 1: Estado desconocido, pero se considera factible según referencias indirectas.
- NDT 2: Idea general o concepto básico propuesto públicamente.
- NDT 3: Convocatorias abiertas para financiamiento público de investigación y desarrollo.
- NDT 4: Resultados de proyectos académicos o parcialmente divulgados.
- NDT 5: Diseño inicial del producto divulgado.
- NDT 6: Prototipo operativo o "primer caso" divulgado.
- NDT 7: Producto divulgado pero no disponible para uso.
- NDT 8: Disponible para usuarios restringidos (ej. profesionales, militares, investigadores).
- NDT 9: Disponible para el público en general.

La tabla refleja la diversidad de implementaciones específicas de la IA, desde herramientas de diagnóstico y tratamiento hasta aplicaciones más avanzadas como la realidad aumentada, la robótica y la edición genética, evidenciando cómo la IA está redefiniendo los límites de la medicina, acercando conceptos futuristas que antes se pensaban imposibles.

Sin embargo, el amplio rango de NDT observado en cada tecnología subraya la heterogeneidad en su desarrollo, destacando tanto los avances consolidados como aquellos que aún se encuentran en etapas incipientes o teóricas.

Tabla 3. Aplicaciones de la Inteligencia Artificial en Medicina y Atención Sanitaria. Fuente: Gómez-González et al., 2020.

Tecnologías de IA y mediadas por IA	Implementaciones específicas	NDT
Algoritmos para el diagnóstico asistido por ordenador.	Software de apoyo a la toma de decisiones en la mayoría de las áreas clínicas.	8,9
Informes estructurados, <i>eHealth</i> .	Software para mejorar el flujo de trabajo y la eficiencia.	8,9
Realidad aumentada / Realidad virtual, herramientas avanzadas de imagen.	Herramientas para la visualización y navegación de información.	6,7,9
	Cirugía guiada por imágenes. Teleoperación.	4,6,9
Patología digital, autopsia virtual.	Software para análisis automatizado y exhaustivo.	4-9
Medicina personalizada y de precisión.	Tratamientos a medida. Predicción de respuesta.	4-9
	Modelado y pruebas de simulaciones computacionales. El ‘gemelo digital’.	4-8
	Diseño de medicamentos.	4-8
Apps, chatbots, paneles de control, plataformas en línea.	El ‘doctor digital’ (asistencia para profesionales y pacientes).	8,9
Robots de compañía y sociales.	Para personas hospitalizadas, niños y ancianos.	4-9
Recopilación y análisis de Big Data.	Detección epidemiológica y monitorización temprana de brotes de enfermedades.	2-9
	Detección de fraudes. Control de calidad, monitorización de médicos y tratamientos.	4-9
IoT, dispositivos portátiles, mHealth.	Vigilancia clínica/sanitaria automatizada en cualquier entorno/institución.	7,8
	Monitorización, administración automatizada de medicamentos.	7-9
Edición genética.	Tratamiento y prevención de enfermedades.	7,8
Fusión de datos médicos y sociales. ‘Ingeniería social’.	Prevención de episodios con relevancia clínica (por ejemplo, intentos de suicidio).	6,8
	Marketing personalizado (por ejemplo, relacionado con los ciclos femeninos).	6,8

Lectura y decodificación de señales cerebrales. Interacción con procesos neuronales.	Tratamiento de enfermedades. Restauración de funciones dañadas.	3-8
	Interfaces cerebro-máquina.	5-8
	Control de prótesis, exoesqueletos. 'Cyborgs'.	2-7
	Neuroestimulación. Neuromodulación.	4-8
	Neuroprótesis (para el sistema nervioso central).	2-5
	'Lectura' y 'manipulación' mental.	1-3
Pruebas genéticas. Evaluación de poblaciones.	Pruebas de enfermedades. Pruebas directas al consumidor.	4-9
Medicina personalizada y de precisión.	Perfiles individuales. Moléculas personalizadas (para tratamientos) a precios 'imposibles'.	3-8
Edición genética.	Humanos 'diseñados'.	2,6
	'Superhumanos' mejorados genéticamente.	2
	Medicina de autoexperimentación. Biohacking.	2,6
Sistemas de IA totalmente autónomos.	El 'doctor digital'.	2-5
	'Cirujano robótico'.	2,4
Embriones humano-animal.	Órganos para trasplantes.	2,4,5
	Seres híbridos.	2,4
La búsqueda de la inmortalidad.	Emulación / trasplante de cerebro completo.	1,2
La búsqueda de formas de vida artificiales.	'Máquinas vivientes' ('robots biológicos', 'biobots').	4,6
	Militar.	2,3
Biohacking malicioso.	Dirigido a individuos o grupos específicos.	1,2
Armamentización.	De 'pequeños laboratorios' a laboratorios militares.	1,2
Bioterrorismo.	Desde 'pequeños laboratorios'.	1,2

El uso de la IA en la medicina se ha visto impulsado por la disponibilidad de estos grandes conjuntos de datos provenientes de historiales médicos electrónicos, imágenes diagnósticas, datos genómicos y dispositivos electrónicos de monitorización personal. Estos datos son esenciales para entrenar los algoritmos de IA, permitiéndoles mejorar su precisión y utilidad en la toma de decisiones clínicas (Hassan et al., 2024).

Además del creciente interés por investigar aplicaciones prácticas de la IA, el aumento exponencial de datos en el sector sanitario está creando un escenario propicio para acelerar la innovación en este campo. Cabe destacar que aproximadamente el 30% de los datos generados a nivel mundial provienen del sector de la salud, y se espera que esta cifra siga aumentando (Hassan et al., 2024). Se estima que la tasa de crecimiento anual compuesto de estos datos alcanzará el 36% durante el año 2025, superando a industrias como la manufacturación, los servicios financieros, los medios y el entretenimiento (Hassan et al., 2024). Este ritmo acelerado de generación de datos refleja la creciente digitalización del sector y proporciona una base sólida para el desarrollo de tecnologías de IA más avanzadas y eficientes.

En el ámbito de la salud, los sistemas de inteligencia artificial (IA) se nutren de una amplia variedad de fuentes de datos, tanto estructurados como no estructurados. Entre los datos no estructurados, destacan las notas clínicas de texto libre que forman parte de los registros médicos electrónicos, los cuales son procesados mediante técnicas de procesamiento del lenguaje natural (*Natural Language Processing* conocido por sus siglas en inglés *NLP*). Por otro lado, los datos estructurados, como imágenes diagnósticas o información genómica, son analizados mediante algoritmos de aprendizaje automático (*Machine Learning* conocido por sus siglas en inglés *ML*). Estos algoritmos se dividen principalmente en dos categorías: aprendizaje supervisado y aprendizaje no supervisado. El primero es el más utilizado en aplicaciones clínicas, ya que permite obtener resultados más precisos y relevantes para la toma de decisiones médicas. Las redes neuronales y las máquinas de vectores de soporte son las técnicas más populares (Hassan et al., 2024).

Una de las evoluciones más significativas en este campo es el aprendizaje profundo (*Deep Learning*), una extensión avanzada de las redes neuronales que ha ganado relevancia gracias a su capacidad para procesar grandes volúmenes de datos complejos a través de múltiples capas de análisis. Este avance ha sido posible gracias a la creciente disponibilidad de datos masivos y a la mejora en la capacidad de procesamiento computacional, previamente mencionada. El *Deep Learning* no solo permite analizar datos estructurados, sino que también puede trabajar en conjunto con el *NLP* para transformar información no estructurada, como textos clínicos, en formatos que los algoritmos de *ML* pueden interpretar. Esta sinergia entre *NLP* y *ML* es fundamental para entrenar y mejorar continuamente los sistemas de IA, ya que cuantos más datos se incorporan, mayor es la precisión y eficacia de estos sistemas (Hassan et al., 2024).

La integración de estas fuentes permite a los sistemas de IA ofrecer soluciones más completas y personalizadas mediante modelos de lenguaje con capacidad para procesar y generar texto de manera eficiente a gran escala. Este tipo de herramientas, conocidas como IA generativa, están siendo exploradas para extraer y sintetizar información de los historiales médicos electrónicos, transformándola en resultados útiles para los profesionales de la salud. Esto facilita la toma de decisiones clínicas y reduce la carga administrativa, permitiendo a los médicos centrarse más en la atención al paciente (Hassan et al., 2024).

El avance acelerado de la inteligencia artificial (IA) se sustenta en una serie de factores interconectados que han impulsado su desarrollo en los últimos años. Uno de los pilares fundamentales es el acceso a herramientas de procesamiento cada vez más potentes y asequibles, tanto en términos de hardware como de software. Dispositivos como las unidades de procesamiento gráfico y otros componentes de alta capacidad, que antes estaban limitados a entornos especializados, ahora están disponibles incluso en equipos personales y dispositivos móviles de uso cotidiano. Esto ha facilitado el acceso a la tecnología necesaria para desarrollar y ejecutar algoritmos complejos de IA (Gómez-González et al., 2020).

Otro elemento a tener en cuenta es la expansión de comunidades en línea y recursos de código abierto. Este intercambio de ideas y recursos podría haber facilitado la creación de soluciones más robustas y accesibles, reduciendo las barreras de entrada para quienes desean adentrarse en el campo de la IA (Gómez-González et al., 2020).

La convergencia de la IA con otras tecnologías emergentes, como la fotónica (que combina la óptica y la electrónica) y las interfaces humano-máquina, ha ampliado aún más sus horizontes. Estas integraciones han permitido avances significativos en áreas como el procesamiento de imágenes, la comunicación de datos y la interacción entre humanos y sistemas inteligentes, lo que ha contribuido a que la IA se incorpore de manera más natural y eficiente en diversos contextos (Gómez-González et al., 2020).

La IA en la medicina se define como la aplicación de dichos algoritmos y modelos computacionales que imitan la inteligencia humana para realizar tareas que tradicionalmente requieren intervención de las personas, como el diagnóstico, la predicción de enfermedades, la planificación de tratamientos y la gestión de recursos sanitarios. Entre las técnicas más destacadas se encuentran el aprendizaje automático (*Machine Learning*) y el procesamiento del lenguaje natural (*Natural Language Processing*), que permiten a los sistemas de IA analizar grandes volúmenes de datos, aprender de ellos y generar conclusiones útiles para los profesionales de la salud (Hassan et al., 2024).

En los últimos 30 años, la investigación en inteligencia artificial (IA) ha experimentado un crecimiento exponencial, reflejado en un aumento constante en el número de publicaciones científicas relacionadas con su aplicación en el ámbito de la salud. Durante este periodo de tiempo, los estudios bibliométricos han reportado un crecimiento anual del 5,12 % en la cantidad de artículos publicados sobre esta temática, con un incremento particularmente significativo en los últimos años, indicando un interés cada vez mayor por explorar el potencial de la IA en la medicina y la gestión sanitaria (Hassan et al., 2024).

En la figura 1 se puede apreciar una recopilación de un total de las 18 categorías de aspectos relacionados con la IA que más aparecen en las publicaciones científicas y académicas (la muestra inicial de los artículos analizados por Hassan et al. fue de más de 2500 artículos).

Cabe mencionar que varias de estas pueden ser consideradas simultáneamente como barreras y como facilitadores en la adopción de la inteligencia artificial en el ámbito sanitario, dependiendo del contexto en el que se apliquen.

Transparencia Explicabilidad	Sesgo en algoritmos Equidad Justicia	Funcionalidad Precisión Utilidad	Riesgo de daño	Confianza	Colaboración humano-IA
Alineación de componentes estratégicos	IA en casos prácticos IA para resolución de problemas	Participación Co-diseño Enfoques centrados en el usuario	Integración en el flujo de trabajo	Concienciación Capacitación	Recursos Infraestructura
Evaluación Validación	Seguridad de datos Propiedad de datos Calidad de datos Disponibilidad de datos	Ética Privacidad	Gobernanza	Regulación Aspectos legales	Financiamiento y costes

Figura 1. Las 18 categorías de aspectos relacionados con la IA que más aparecen en las publicaciones científicas y académicas. Fuente: Hassan et al., 2024.

Las áreas médicas con mayor volumen de publicaciones relacionadas con la IA incluyen la oncología, las enfermedades cardiovasculares, el ictus, la oftalmología, el Alzheimer y la depresión. Estos campos han sido objeto de numerosos estudios debido a la necesidad de mejorar el diagnóstico temprano, optimizar los tratamientos y desarrollar enfoques personalizados basados en datos masivos. En cuanto a las tecnologías más estudiadas, predominan la robótica, el aprendizaje automático (ML) y el aprendizaje profundo (DL), herramientas que han demostrado su eficacia en la automatización de procesos clínicos y la mejora de la toma de decisiones médicas (Hassan et al., 2024).

En el ámbito de la salud, las publicaciones sobre aplicaciones de la IA se centran en dos grandes ejes: la optimización de la eficiencia operativa y administrativa, y la mejora de la atención al paciente. En términos operativos, la IA ha demostrado ser una herramienta clave para la gestión hospitalaria, facilitando tareas administrativas y mejorando el desempeño organizacional. Entre sus aplicaciones más destacadas se encuentra la consolidación y actualización de información médica basada en la evidencia, permitiendo a los profesionales sanitarios acceder a datos validados en tiempo real para respaldar sus decisiones clínicas. Además, la IA se ha empleado en el análisis de datos de los registros electrónicos de salud, contribuyendo a detectar variaciones en la prestación de servicios médicos entre distintos hospitales y centros de atención (Hassan et al., 2024).

Un ejemplo concreto del impacto de la IA en la gestión hospitalaria se observa en los departamentos de urgencias, donde se ha aplicado con éxito para optimizar la planificación de recursos y la gestión del flujo de pacientes. Instituciones como el Hospital for Sick Children y el Humber River Hospital en Ontario, Canadá, han implementado sistemas basados en IA para predecir el volumen de pacientes en las salas de espera de urgencias, mejorando así la asignación de personal y la eficiencia operativa (Hassan et al., 2024).

El crecimiento continuo de la investigación en IA aplicada a la medicina, junto con sus avances en diversas áreas clínicas y de gestión, demuestra su potencial para transformar el sector sanitario. A medida que estas tecnologías evolucionan, su integración en los sistemas de salud seguirá desempeñando un papel fundamental en la optimización de procesos y la mejora de la calidad asistencial.

Uno de los campos donde la IA ha sido aplicada con éxito es la cardiología, donde su implementación ha facilitado la detección temprana de condiciones como la fibrilación auricular mediante electrocardiogramas basados en dispositivos móviles. Además, el uso de registros médicos electrónicos ha permitido desarrollar modelos de evaluación del riesgo cardiovascular, lo que contribuye a la prevención de enfermedades y a la personalización de los tratamientos (Hassan et al., 2024).

En neurología, la IA ha mostrado resultados prometedores en la predicción y diagnóstico del ictus, mejorando la capacidad de identificación temprana de eventos cerebrovasculares y optimizando la respuesta clínica en casos de emergencia. Asimismo, en el ámbito de la gastroenterología, se han llevado a cabo ensayos exitosos en los que los algoritmos han sido capaces de predecir la evolución del cáncer de esófago y detectar la presencia de metástasis en el cáncer colorrectal, lo que ha permitido un abordaje terapéutico más preciso (Hassan et al., 2024).

Uno de los usos más consolidados de la IA en el sector sanitario es el diagnóstico basado en imágenes, donde ha logrado un impacto significativo en diversas especialidades. Su aplicación en radiología, dermatología, oftalmología y patología ha permitido una mayor precisión en la interpretación de estudios médicos, facilitando la detección de anomalías con una rapidez y exactitud superior a la de los métodos tradicionales (Hassan et al., 2024).

La IA también es utilizada en los servicios de urgencias para aumentar la eficacia en el diagnóstico de diversas enfermedades, incluyendo eventos cardíacos agudos e hiperpotasemia, entre otras afecciones (Hassan et al., 2024).

La inteligencia artificial (IA) está siendo aplicada en el ámbito del cáncer, a modelos radiómicos, a modo de herramienta para realizar evaluaciones clínicas de manera no invasiva. La radiómica es una técnica que permite extraer información cuantitativa de imágenes médicas, la cual se utiliza como base para alimentar modelos de clasificación tradicionales. El análisis radiómico en ocasiones enfrenta el desafío de a partir de áreas específicas de las imágenes, realizar un sobreajuste del modelo y proporcionar resultados sesgados. A pesar de esta limitación y de que aún queda mucho por explorar en cuanto a la identificación de las características más relevantes para la mejora de la precisión de los modelos clasificadores, la radiómica ha demostrado ser efectiva en el estudio de diversos tipos de cáncer (Chaddad et al., 2022).

En los últimos años, el interés por las técnicas de IA en el ámbito médico ha impulsado el desarrollo de sistemas de diagnóstico asistido por ordenador. Estos sistemas, que combinan radiómica con métodos de aprendizaje automático y aprendizaje profundo, se utilizan para detectar, segmentar, clasificar y predecir la evolución de tumores en imágenes médicas (Chaddad et al., 2022).

Entre las aplicaciones más destacadas se encuentran la detección temprana de lesiones, la segmentación de regiones de interés, la clasificación de tumores y el análisis de supervivencia. Se emplean redes neuronales convolucionales como una solución innovadora, que permite extraer características predictivas directamente de las imágenes médicas (como resonancias magnéticas, tomografías computarizadas o PET) de manera automática, sin necesidad de intervención manual (Chaddad et al., 2022).

Estas redes están compuestas por capas convolucionales (proceso de aplicación de filtros a imágenes médicas para la extracción de características) y capas de agrupación (controlar el sobreajuste reduciendo el tamaño espacial). Durante el entrenamiento, las redes neuronales ajustan las características más relevantes a identificar para luego se utilizarlas como entrada para algoritmos de clasificación (Chaddad et al., 2022).

Es importante mencionar que a pesar de la infinidad de aplicaciones de la IA en la medicina introducidas y del crecimiento de la digitalización y el potencial del sector, la adopción efectiva de estas tecnologías no solo depende de su desarrollo y disponibilidad, sino también de su implementación exitosa dentro de estructuras organizativas que, en muchos casos, presentan una gran resistencia al cambio (Hassan et al., 2024).

Uno de los principales obstáculos en la integración de la IA en el sector sanitario radica en la complejidad de las organizaciones de salud. Estas instituciones suelen operar con estructuras heredadas, en las que la introducción de nuevas tecnologías puede generar conflictos con sistemas preexistentes, dificultando su implementación. Además, la escasez de recursos y la elevada demanda asistencial pueden hacer que la adopción de nuevas herramientas tecnológicas se perciba como una carga adicional en lugar de un beneficio inmediato (Hassan et al., 2024).

La evidencia sugiere que un porcentaje significativo de los proyectos de tecnología sanitaria no logra consolidarse. Se estima que el 70 % de las iniciativas en tecnologías de la información en salud fracasan, lo que pone de manifiesto la importancia de estudiar los factores que influyen en su aceptación y uso (Hassan et al., 2024).

Dado este contexto, es fundamental que las instituciones de salud comprendan no solo los beneficios de la IA, sino también las barreras y facilitadores que determinan su adopción. Factores como la capacitación del personal, la interoperabilidad con sistemas existentes, la regulación del uso de datos y la confianza en la tecnología desempeñan un papel crucial en la integración efectiva de la IA en la práctica médica. Solo abordando estos desafíos será posible maximizar el impacto positivo de la inteligencia artificial y consolidar su aplicación en escenarios reales dentro del sector sanitario (Hassan et al., 2024).

2.2 Enfermedad Pulmonar Obstructiva Crónica (EPOC)

Enfermedad

La Enfermedad Pulmonar Obstructiva Crónica (EPOC) se define por un proceso patológico que afecta las vías respiratorias, el tejido pulmonar y los vasos sanguíneos del pulmón. Estos cambios estructurales provocan una obstrucción progresiva al flujo de aire, lo que se traduce en síntomas característicos como:

- Dificultad respiratoria (disnea).
- Tos crónica, frecuentemente con producción de flemas.
- Intolerancia al ejercicio.
- Episodios de agravamiento o exacerbaciones (Stolz et al., 2022).

La EPOC se caracteriza por ser un proceso inflamatorio crónico que afecta principalmente al sistema respiratorio, pero cuyas repercusiones se extienden a múltiples órganos y sistemas (bazo, hígado, médula ósea, sistema nervioso central, etc). Esta condición heterogénea se caracteriza por la presencia de los síntomas respiratorios persistentes mencionados anteriormente y por la limitación del flujo aéreo, siendo esta no completamente reversible.

El diagnóstico se confirma habitualmente mediante espirometría post-broncodilatadora, una prueba que evalúa la función pulmonar midiendo dos parámetros clave:

1. FEV1 (Volumen Espiratorio Forzado en el primer segundo)
 - Representa la cantidad máxima de aire que el paciente puede exhalar con fuerza en el primer segundo de una espiración forzada
2. FVC (Capacidad Vital Forzada)
 - Corresponde al volumen total de aire que puede ser exhalado durante una maniobra espiratoria máxima

Un cociente $FEV1 / FVC < 0.7$ indica la existencia de obstrucción al flujo aéreo (Farrell et al., 2024).



Figura 2. La clasificación GOLD de la EPOC. Fuente: (Khan et al., 2023).

La Iniciativa Global para la Enfermedad Pulmonar Obstructiva Crónica (GOLD), es una iniciativa conjunta de la Organización Mundial de la Salud y del Instituto Nacional de Salud de Estados Unidos que clasifica la obstrucción en pacientes con EPOC en cuatro estadios según el FEV1 (Khan et al., 2023).

De forma alternativa se busca la confirmación del diagnóstico mediante una Tomografía Computarizada (TC), la cual permite detectar enfisema (alteraciones estructurales en los pulmones) y remodelado bronquial en casos dudosos, o una Pletismografía, que evalúa volúmenes pulmonares en pacientes con sospecha clínica pero espirometría no concluyente (Farrell et al., 2024).

Sin embargo, la identificación temprana puede ser compleja debido a la superposición sintomática con otras patologías respiratorias (asma, fibrosis pulmonar) o la presencia de pacientes con cambios patológicos iniciales pero función pulmonar aún normal. La distinción entre EPOC y asma representa un desafío particular debido a:

- Síntomas clínicos superpuestos
- Presencia de obstrucción al flujo aéreo en ambas
- Mecanismos inflamatorios compartidos (Farrell et al., 2024)

No obstante, la EPOC se diferencia por presentar obstrucción fija al flujo aéreo y cambios enfisematosos característicos (alteraciones estructurales en los pulmones).

Para comprender mejor su heterogeneidad, se han propuesto varios endotipos principales (mecanismos biológicos específicos), creando así una clasificación por mecanismos fisiopatológicos subyacentes (procesos biológicos anormales que causan y mantienen la enfermedad) que busca facilitar el desarrollo de terapias más dirigidas y personalizadas:

- Inflamación neutrofílica (debido a células inmunes asociadas a infecciones) y eosinofílica (asociada a alergias).
- Remodelado de vías aéreas (cambios estructurales anormales en los bronquios).
- Alteraciones del microbioma pulmonar (desbalance en las bacterias/hongos que colonizan los pulmones).
- Desequilibrio entre apoptosis (muerte celular programada) y reparación tisular o proceso de reparación (Farrell et al., 2024).

La complejidad de la EPOC radica en su naturaleza multifactorial. Tradicionalmente era asociada al consumo de tabaco pero, la evidencia científica ha demostrado que hasta un 30% de los casos ocurren en personas no fumadoras, resaltando la importancia de otros factores de riesgo menos reconocidos (Stolz et al., 2022).

Entre los factores más relevantes se encuentran:

- **Tabaquismo activo y pasivo:** Constituye el factor de riesgo más importante, los fumadores presentan mayor disnea, estadios más avanzados de EPOC, menor FEV1 posbroncodilatador y un mayor número de alteraciones enfisematosas en radiografías. El humo que inhala un fumador pasivo provoca inflamación y daña las paredes alveolares, contribuyendo al desarrollo de enfisema. Entre el 85% y el 90% de los casos de EPOC están relacionados con el consumo de tabaco.
- **Género:** Las mujeres manifiestan mayores síntomas de enfisema con menor exposición al tabaco en comparación con los hombres.
- **Contaminación ambiental e Infecciones respiratorias:** Deterioros de la función pulmonar, aumento de los síntomas, mayor riesgo de exacerbaciones y aumento de la mortalidad tienen lugar debido a la exposición a contaminantes del aire exterior y a infecciones virales o bacterianas.
- **Temperaturas extremas:** Incrementan la morbilidad respiratoria.
- **Déficit de alfa-1 antitripsina:** Condición genética por la que la producción de la proteína protectora alfa-1 antitripsina (AAT) es insuficiente pudiendo resultar en daño hepático y pulmonar.
- **Alteraciones en el desarrollo pulmonar infantil:** Subdesarrollo pulmonar en la infancia que predispone la aparición de EPOC en la edad adulta.
- **Incumplimiento del tratamiento** (Khan et al., 2023).

Prevalencia

La Enfermedad Pulmonar Obstructiva Crónica (EPOC) representa uno de los mayores desafíos en salud pública del siglo XXI. Con una prevalencia global que supera los 300 millones de casos y una mortalidad anual de más de 3 millones de personas aproximadamente, esta patología respiratoria se ha convertido en la tercera causa de muerte a nivel mundial y la octava causa por la que se pierden más años de vida (ver figura 3). A diferencia de otras enfermedades crónicas, la carga atribuible a la EPOC continúa en aumento. En los últimos 30 años su prevalencia ha aumentado aproximadamente en un 40% (Stolz et al., 2022).

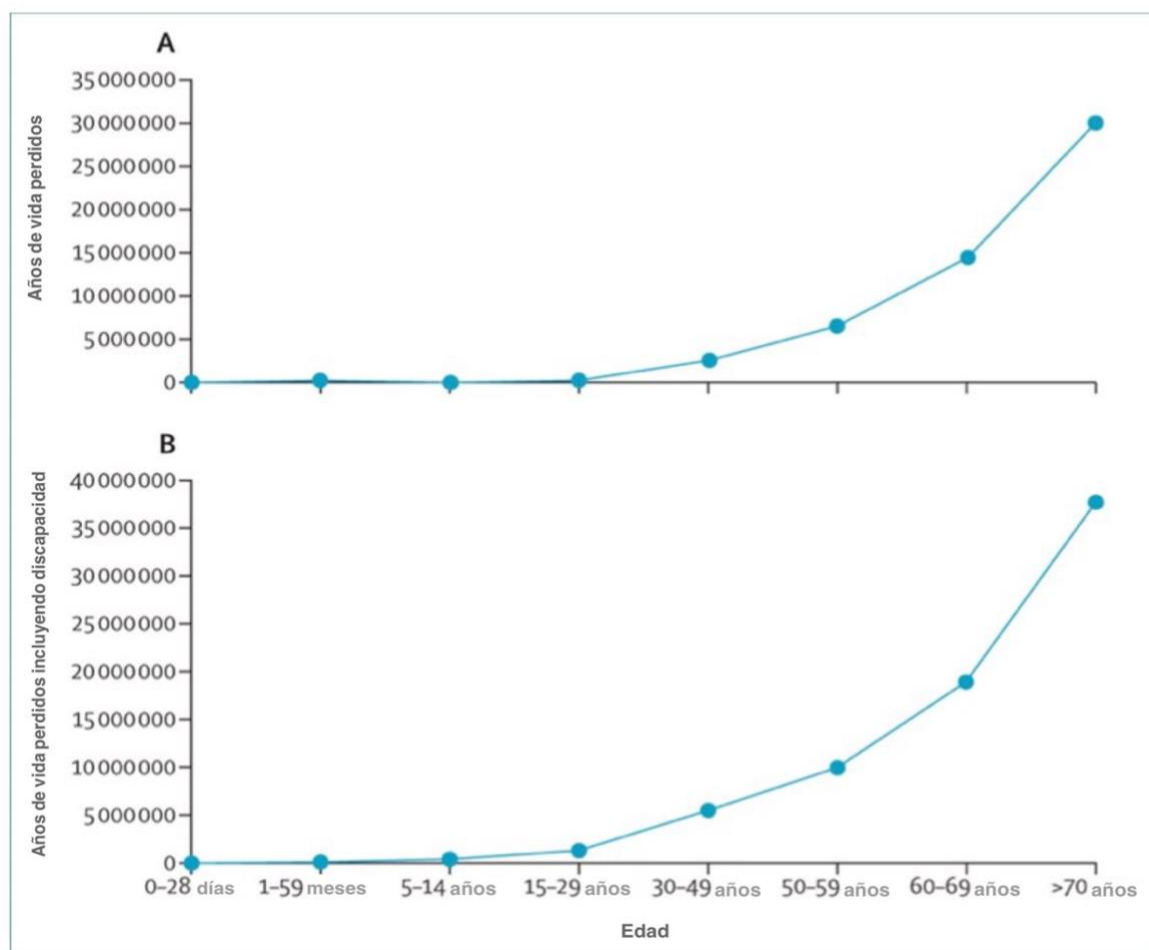


Figura 3. Años de vida perdidos y ajustados por discapacidad debido a la COPD, según la edad, anualmente y a nivel mundial. Fuente: (Stolz et al., 2022)

La enfermedad tiene un impacto significativo en la calidad de vida de los pacientes, limitando sus actividades diarias y generando consecuencias psicológicas como ansiedad y aislamiento social. La EPOC afecta a personas de todos los países y niveles socioeconómicos (Stolz et al., 2022).

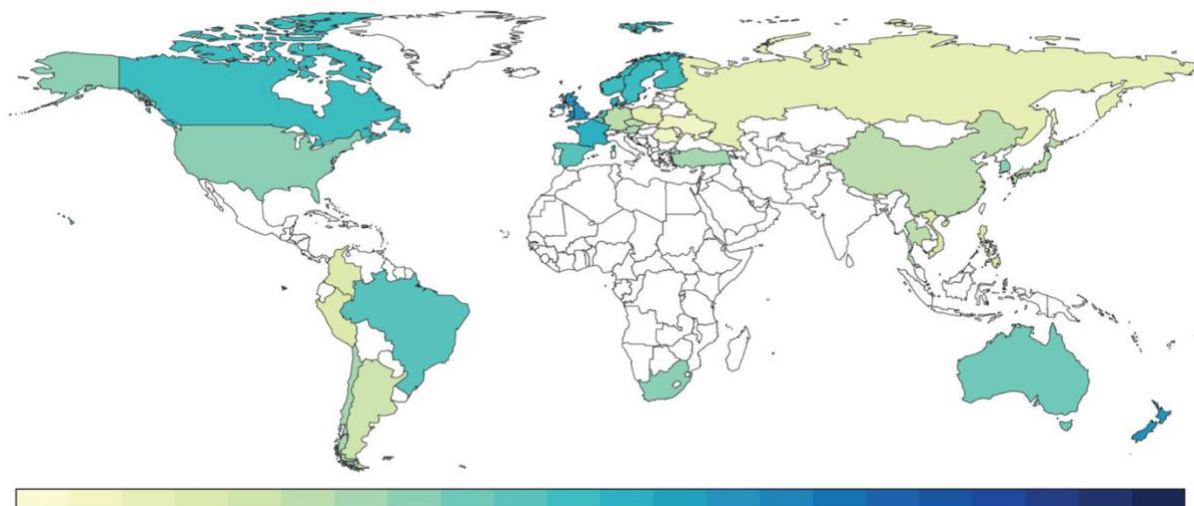


Figura 4. Mapa de la variabilidad geográfica en la incidencia de exacerbaciones moderadas o graves de la EPOC. Fuente: (Stolz et al., 2022)

Aplicaciones IA

La inteligencia artificial permite mejorar el diagnóstico, la estadificación y el manejo de la enfermedad, especialmente mediante el análisis de imágenes médicas como la tomografía computarizada (TC) (Wu et al., 2024).

La TC de alta resolución permite visualizar con detalle las estructuras pulmonares, lo que facilita la identificación de alteraciones características de la EPOC, como el enfisema, el engrosamiento de las vías aéreas y los cambios vasculares. Sin embargo, la interpretación manual de estas imágenes puede ser subjetiva y consumir mucho tiempo. Aquí es donde la IA, mediante técnicas de aprendizaje automático (ML) y aprendizaje profundo (DL), ofrece ventajas significativas:

1. Radiómica y Extracción de Características:

La radiómica permite cuantificar patrones en las imágenes de TC que pueden no ser perceptibles a simple vista. Algoritmos de ML, como las máquinas de vectores de soporte (algoritmos de aprendizaje supervisado utilizados para clasificación y regresión), han demostrado ser efectivos para clasificar la gravedad de la EPOC basándose en estas características, superando en precisión a métodos tradicionales.

2. Redes Neuronales Convolucionales (CNN)

Las CNN, una variante del DL, son especialmente útiles para analizar imágenes médicas. Estas redes pueden identificar automáticamente patrones asociados a la EPOC, como la distribución del enfisema o las anomalías en las vías aéreas, sin necesidad de intervención manual. Existen modelos ya probados que han logrado una alta precisión en la detección y estadificación de la enfermedad (Wu et al., 2024).

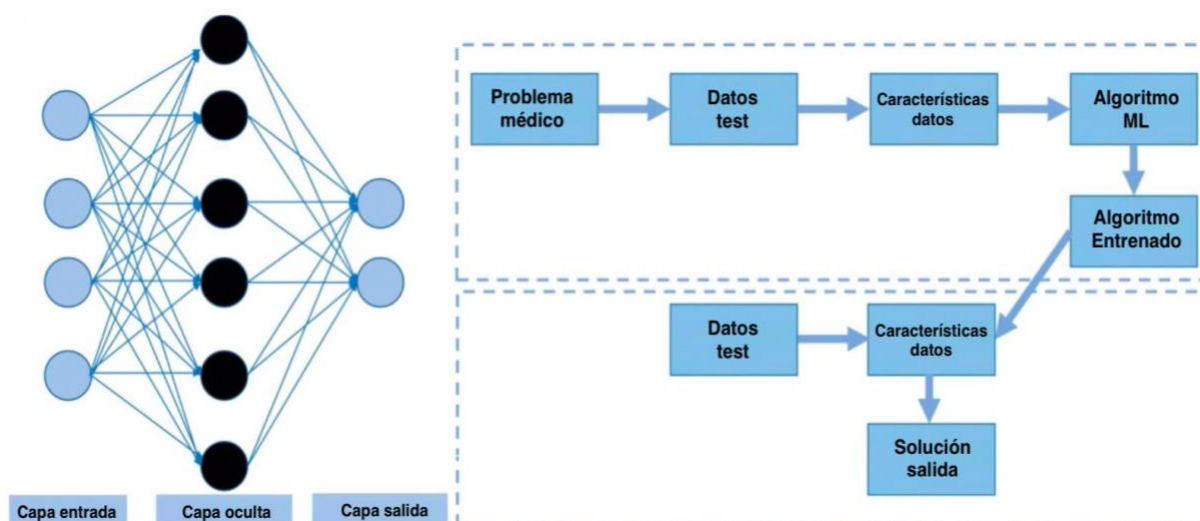


Figura 5. Algoritmo de red neuronal artificial y entrenamiento de un modelo de aprendizaje automático en medicina. Fuente: (Feng et al., 2021)

La EPOC es una enfermedad heterogénea, y la IA ayuda a diferenciar sus subtipos mediante el análisis de imágenes (análisis de fenotipos de la EPOC):

- **Enfisema:** Los algoritmos de IA pueden clasificar los subtipos de enfisema (centrolobulillar, panlobulillar y paraseptal) y cuantificar su extensión, lo que es crucial para personalizar el tratamiento.
- **Vías Aéreas:** Las técnicas de segmentación basadas en IA permiten medir con precisión el grosor de las paredes bronquiales y el diámetro de las vías respiratorias, indicadores clave de la progresión de la enfermedad.
- **Cambios Vasculares:** La IA también se emplea para analizar alteraciones en los vasos pulmonares, que pueden estar asociadas a complicaciones como la hipertensión pulmonar (Wu et al., 2024).

Es una patología respiratoria que se caracteriza por episodios de empeoramiento sintomático, conocidos como agudizaciones (AECOPD), que generan una elevada morbilidad, mortalidad y costes sanitarios. En este contexto, la monitorización remota de pacientes (RPM) y la inteligencia artificial (IA) mejoran la detección temprana y el manejo de estas agudizaciones (Glyde et al., 2024).

La RPM permite recopilar datos fisiológicos y funcionales de los pacientes (como frecuencia cardíaca, saturación de oxígeno, actividad física y espirometría) fuera del entorno clínico tradicional. Sin embargo, los estudios revisados muestran que, aunque la RPM es útil, su efectividad como intervención independiente es limitada (Glyde et al., 2024).

La IA, específicamente el *Machine Learning* (ML), ofrece un valor añadido. Los modelos de ML pueden analizar grandes volúmenes de datos recopilados mediante RPM para identificar patrones predictivos de AECOPD con mayor precisión que los métodos convencionales (Glyde et al., 2024).

Entre los aportes del *Machine Learning* en la predicción de AECOPD cabe destacar:

1. Mayor precisión diagnóstica: consiguiendo sensibilidades del 97.9% y una especificidad del 84% (combinando biomarcadores como la proteína C reactiva, con datos de espirometría y cuestionarios clínicos) en determinados modelos.
2. Modelos avanzados:
 - Redes neuronales recurrentes (RNN): Ideales para analizar secuencias temporales de datos (ej. variaciones diarias de SpO₂ o actividad física).
 - Redes bayesianas y *Random Forests*: Destacan por su interpretabilidad y capacidad para manejar datos incompletos, útiles en entornos clínicos reales con información fragmentada.
3. Detección temprana y personalización:
 - La IA identifica cambios sutiles en parámetros como:
 - Saturación de oxígeno (SpO₂): Descenso del 1–2% previo a una agudización.
 - Frecuencia respiratoria: Aumento promedio de 2 respiraciones/min en la fase inicial de la enfermedad.
 - Actividad física: Reducción asociada a mayor riesgo de reingresos hospitalarios (Glyde et al., 2024).

A pesar de sus avances, la implementación clínica de la IA en la EPOC enfrenta retos como la necesidad de grandes conjuntos de datos etiquetados, la interpretabilidad de los modelos y su integración en los flujos de trabajo hospitalarios. No obstante, el futuro es alentador, con perspectivas como el desarrollo de algoritmos más precisos y la combinación de imágenes con datos genómicos o ambientales para un enfoque más completo (Wu et al., 2024).

2.3 Insuficiencia Cardíaca

Enfermedad

La insuficiencia cardíaca (IC) representa uno de los síndromes clínicos más complejos en cardiología, caracterizado por la incapacidad del corazón para mantener un gasto cardíaco adecuado a las demandas metabólicas del organismo. Este trastorno hemodinámico conduce a una perfusión tisular inadecuada y al desarrollo de congestión vascular, manifestándose a través de un espectro de síntomas que incluyen disnea progresiva, fatiga incapacitante y retención hidrosalina.

New York Heart Association (NYHA) categoriza la sintomatología en cuatro clases:

- Clase I: Sin limitación de actividad física
- Clase II: Limitación leve
- Clase III: Limitación marcada
- Clase IV: Síntomas en reposo (Heidenreich et al., 2022).

La incapacidad del corazón para bombear sangre de manera eficiente y satisfacer las demandas metabólicas del organismo, es una disfunción que puede ser el resultado de alteraciones en la contractilidad del miocardio (insuficiencia cardíaca con fracción de eyección reducida, IC-FEr), en la relajación y llenado ventricular (insuficiencia cardíaca con fracción de eyección preservada, IC-FEp), o una combinación de ambas (insuficiencia cardíaca con fracción de eyección intermedia, IC-FEm) (Rosano et al., 2022).

La medicina contemporánea clasifica la IC en tres categorías principales basadas en la fracción de eyección del ventrículo izquierdo (FEVI):

1. IC con Fracción de Eyección Reducida (IC-FEr): $FEVI \leq 40\%$

- Fisiopatología:
 - El corazón se contrae con menos fuerza (la "fracción de eyección" es $\leq 40\%$, es decir, expulsa menos sangre de lo normal).

- Se pierden células del músculo cardíaco.
 - El corazón se deforma y agranda (remodelado adverso).
 - El cuerpo activa sistemas de estrés que empeoran el problema a largo plazo (activación neurohormonal).
 - Etiologías predominantes:
 - Cardiopatía isquémica (40-50%) (infartos previos o arterias tapadas)
 - Miocardiopatía dilatada idiopática (30%) (Corazón dilatado sin causa conocida)
 - Valvulopatías avanzadas (válvulas cardíacas muy dañadas).
2. IC con Fracción de Eyección Levemente Reducida (IC-FElr): FEVI 41-49%
- Fenotipo intermedio con características superpuestas (el corazón se contrae algo mejor, pero no tiene el funcionamiento de un corazón sano).
 - Importancia pronóstica: Mayor riesgo de progresión a IC-FEr que los pacientes con FEVI preservada, con el tiempo puede empeorar.
3. IC con Fracción de Eyección Preservada (IC-FEp): FEVI $\geq$ 50%
- Mecanismos clave: Disfunción diastólica, rigidez miocárdica (exceso de fibrosis, tejido cicatricial que lo endurece) y alteración en la relación presión-volumen (el corazón parece contraerse bien pero está rígido y no se llena correctamente)
 - Factores asociados: Edad avanzada, sexo femenino, hipertensión arterial de larga evolución, pacientes con obesidad o diabetes (Heidenreich et al., 2022).

Además, en cuanto los factores de riesgo, además de los tradicionales entre los que destacan la Hipertensión arterial, la diabetes y la enfermedad arterial coronaria, estudios recientes señalan la existencia de factores de riesgo emergentes:

- Señales inflamatorias [moléculas proinflamatorias que promueven daño miocárdico y disfunción vascular]

- Marcadores de fibrosis [biomarcadores que reflejan acumulación anormal de colágeno en el corazón].
- Factores de riesgo genómicos [variantes genéticas que predisponen a IC].
- Factores de riesgo proteómicos [proteínas asociadas a IC].
- Exposición a la cardiotoxicidad [fármacos o toxinas ambientales que dañan el corazón] (Bozkurt et al., 2023).

Prevalencia

Los datos epidemiológicos más robustos provienen de Estados Unidos, donde estudios longitudinales revelan:

- 6,7 millones de adultos diagnosticados ($\approx 2,4\%$ población adulta)
- Distribución por edad:
 - 20-39 años: 0,35%
 - 40-59 años: 1,73%
 - ≥ 80 años: 10,14%
- Proyecciones para 2030: 8,5 millones de casos ($\approx 3\%$ población)
- Tasa de rehospitalización a 30 días: 20-25%
- Promedio de ingresos anuales por paciente: 1,7 (Bozkurt et al., 2023).

La IC es una de las principales causas de hospitalización y mortalidad cardiovascular en Europa, con una prevalencia que varía significativamente entre países debido a diferencias en factores de riesgo, envejecimiento poblacional y acceso a la atención médica (Rosano et al., 2022).

- Prevalencia general:
 - La media europea es de 17 casos por 1000 habitantes, con un rango que oscila entre 10 y 39 casos por 1000 según el país.
 - Países con menor prevalencia: España y Países Bajos (10–14/1000).
 - Países con mayor prevalencia: Eslovenia, Lituania y Alemania (21–39/1000) (Rosano et al., 2022).

- Tendencias temporales:
 - Algunos países, como Portugal y Dinamarca, han reducido la prevalencia ajustada por edad en las últimas décadas (-38% y -37% , respectivamente), gracias a mejoras en el control de factores de riesgo cardiovascular.
 - En contraste, naciones como Alemania y Rumanía registran tasas crecientes, vinculadas al envejecimiento y alta carga de comorbilidades (Rosano et al., 2022).



Figura 6. Prevalencia de la insuficiencia cardíaca por cada 1000 personas en Europa.

Fuente: (Rosano et al., 2022).

- Distribución por fenotipos:
 - IC-FEr (fracción de eyección $\leq 40\%$): Predomina en hombres y representa el 51,7% de los casos en estudios recientes (ej. España).
 - IC-FEp (fracción de eyección $\geq 50\%$): Más común en mujeres y adultos mayores, con una prevalencia del 40,2%.
 - IC-FEm (fracción de eyección 41–49%): 8,1% de los casos, con pronóstico intermedio.
- Mortalidad hospitalaria: Oscila entre 2% y 17%, siendo más alta en pacientes con IC-FEr y shock cardiogénico (50% en los primeros días).
- Supervivencia a 5 años: Menos del 50% en casos avanzados, comparable a algunos cánceres.
- Hospitalizaciones:
 - Representan 1–2% de todos los ingresos hospitalarios en Europa.
 - La tasa de reingresos a 30 días alcanza el 25%, principalmente por descompensación por retención de líquidos o comorbilidades (Rosano et al., 2022).

Aplicaciones IA

La inteligencia artificial (IA) ofrece en el campo de la cardiología herramientas innovadoras para el diagnóstico, pronóstico y tratamiento de diversas patologías cardíacas. Entre estas, la insuficiencia cardíaca representa un área de especial interés debido a su alta prevalencia y complejidad clínica. Técnicas avanzadas como el procesamiento de lenguaje natural (NLP) y el aprendizaje automático han demostrado su utilidad para extraer información relevante de fuentes no estructuradas, como las narrativas clínicas escritas por médicos (Le et al., 2021).

Este enfoque permite superar las limitaciones de los sistemas tradicionales basados exclusivamente en datos estructurados, como resultados de laboratorio o imágenes médicas. Los registros electrónicos de salud (EHR) contienen una gran cantidad de información valiosa almacenada en formato de texto libre, como notas de admisión, evaluaciones diarias e informes de progreso. Sin embargo, esta información a menudo queda subutilizada debido a su naturaleza no estandarizada y a la dificultad para procesarla automáticamente.

En el caso específico de la insuficiencia cardíaca, detalles críticos sobre la historia clínica del paciente, hallazgos en exámenes físicos, interpretaciones de imágenes y patrones de medicación suelen quedar enterrados en estas narrativas (Le et al., 2021).

Las técnicas de IA, particularmente el NLP, puede marcar la diferencia transformando el texto clínico en datos procesables. Se emplean diversas técnicas de representación:

1. Bolsa de palabras (BoW): Este método cuenta la frecuencia de palabras clave en los documentos, permitiendo identificar términos médicos relevantes como "milrinona", "fracción de eyección" o "pro-BNP". Aunque simple, ha demostrado ser efectivo en tareas de clasificación inicial.
2. TF-IDF (Frecuencia de Término - Frecuencia Inversa de Documento): Esta técnica pondera la importancia de cada palabra considerando su frecuencia en un documento específico frente a su aparición en todo el corpus. Así, términos médicos específicos de insuficiencia cardíaca reciben mayor peso que palabras comunes.
3. Embeddings neuronales: Modelos más avanzados que capturan relaciones semánticas entre términos, como la asociación entre "disnea" y "edema pulmonar", lo que enriquece el análisis contextual de las narrativas clínicas (Le et al., 2021).

Una vez representado el texto, se aplican algoritmos de clasificación supervisada para distinguir entre pacientes con insuficiencia cardíaca y aquellos sin la condición:

- Regresión logística: Modelo interpretable que calcula la probabilidad de pertenencia a cada clase, útil para identificar factores predictivos clave.
- Naive Bayes gaussiano: Basado en probabilidades condicionales, asume independencia entre características pero es eficiente con datos escasos.
- Redes neuronales multicapa: Arquitectura más compleja que aprende representaciones jerárquicas de los datos, logrando el mejor rendimiento (84-87% de precisión) cuando se combina con TF-IDF (Le et al., 2021).

Los sistemas basados en IA pueden rastrear múltiples indicadores de insuficiencia cardíaca en las narrativas:

- Datos farmacológicos: Uso de inotrópicos [mejorar contracción del corazón].
- Pruebas diagnósticas: Valores anormales de fracción de eyección ($<50\%$) o fracción de acortamiento ($<25\%$).
- Biomarcadores: Niveles elevados de pro-BNP [presión en el ventrículo izquierdo].
- Términos clínicos: Mención de "cardiomiopatía dilatada" o "edema agudo de pulmón" (Le et al., 2021).

En el ámbito de la imagen cardíaca y en el manejo de condiciones complejas como la insuficiencia cardíaca, la IA ha demostrado ser capaz de optimizar la adquisición y el procesamiento de las imágenes mediante:

- Guía automatizada en ecocardiografía: Algoritmos basados en redes neuronales convolucionales (CNN) pueden asistir en la correcta colocación de la sonda ecográfica, asegurando la obtención de imágenes óptimas incluso por parte de operadores con menos experiencia. Se mejora así la calidad de las imágenes y se reduce la dependencia de especialistas altamente entrenados.

- Reducción de tiempos y dosis en resonancia magnética y tomografía computarizada: En técnicas como la resonancia magnética cardíaca (RMC) y la tomografía computarizada (TC), la IA permite acelerar los tiempos de adquisición y reducir la exposición a radiación sin comprometer la calidad diagnóstica. Existen métodos de aprendizaje profundo que permiten reconstruir imágenes de alta resolución a partir de datos incompletos o de baja calidad, optimizando así el proceso de imagen.
- Preprocesamiento y estandarización de imágenes: La heterogeneidad en la calidad y formato de las imágenes puede dificultar su análisis. La IA contribuye a normalizar el brillo, contraste y resolución, facilitando la comparación de estudios longitudinales y entre diferentes centros médicos.
- Segmentación automática de estructuras cardíacas: Algoritmos de IA pueden identificar y delimitar con precisión las cámaras cardíacas, válvulas y grandes vasos en estudios de ecocardiografía, RMC o TC. Esto permite calcular parámetros clave como volúmenes ventriculares, fracción de eyección y deformación miocárdica de manera reproducible, eliminando la subjetividad asociada a las mediciones manuales.
- Detección de anomalías estructurales y funcionales: Modelos de aprendizaje automático han sido entrenados para identificar patrones asociados a enfermedades como la miocardiopatía hipertrófica, la enfermedad coronaria o las valvulopatías. Por ejemplo, en la insuficiencia mitral, algoritmos basados en características de textura pueden clasificar la gravedad de la regurgitación con una precisión superior al 99% (Loncaric et al., 2021).

Uno de los mayores desafíos en el manejo de la IC es la identificación temprana de pacientes con alto riesgo de descompensación o eventos adversos. La IA, mediante algoritmos de ML, puede analizar grandes conjuntos de datos que incluyen historias clínicas electrónicas, resultados de pruebas de laboratorio, imágenes cardíacas y datos de dispositivos portátiles.

Estos algoritmos identifican patrones ocultos que pueden predecir hospitalizaciones o complicaciones graves. Además, la IA puede estratificar a los pacientes según su riesgo, facilitando la asignación de recursos y la priorización de aquellos que requieren atención más intensiva. Esto es particularmente relevante en sistemas de salud con recursos limitados, donde la optimización de la atención es crucial (Kulkarni et al., 2022).

La IA puede analizar datos no estructurados de las historias clínicas electrónicas, como antecedentes familiares, comorbilidades, respuestas previas a tratamientos y biomarcadores específicos, para recomendar terapias personalizadas. En la práctica, esto se traduce en la capacidad de predecir qué pacientes responderán mejor a determinados fármacos o qué casos podrían beneficiarse de dispositivos avanzados, como marcapasos. La IA también puede ayudar a ajustar dosis de medicamentos en tiempo real, basándose en datos de monitorización continua, reduciendo así el riesgo de efectos adversos (Kulkarni et al., 2022).

Un área prometedora es el uso de IA para analizar datos genómicos y proteómicos, identificando subtipos de IC que responden de manera diferenciada a tratamientos específicos. Esto podría llevar a terapias más precisas y efectivas, reduciendo el error en la práctica clínica (Kulkarni et al., 2022).

Aunque la aplicación directa de la robótica en la IC está aún en desarrollo, la IA está comenzando a jugar un papel en procedimientos como la implantación de dispositivos de asistencia ventricular o la ablación de arritmias en pacientes con IC avanzada. Sistemas robóticos asistidos por IA pueden mejorar la precisión en la colocación de electrodos durante la TRC o en la realización de ablaciones complejas, reduciendo complicaciones y mejorando los resultados (Kulkarni et al., 2022).

Además, la telemedicina robótica, como se ha demostrado en intervenciones coronarias remotas, podría extenderse al manejo de la IC en áreas con acceso limitado a especialistas, permitiendo consultas y ajustes terapéuticos a distancia (Kulkarni et al., 2022).

2.4 Diabetes

Enfermedad

La diabetes es una enfermedad metabólica crónica caracterizada por niveles elevados de glucosa en sangre, resultante de defectos en la secreción o acción de la insulina. Su impacto en la salud global es significativo, asociándose a complicaciones microvasculares (retinopatía, nefropatía, neuropatía) y macrovasculares (enfermedad cardiovascular). Según los estándares actuales, se clasifica en varios tipos, cada uno con características fisiopatológicas y clínicas distintivas:

1. Diabetes tipo 1: Se debe a la destrucción autoinmune de las células β pancreáticas, lo que provoca una deficiencia absoluta de insulina. Aunque es más común en niños y adolescentes, también puede manifestarse en adultos, a veces con un inicio menos abrupto. Los marcadores autoinmunes, como los autoanticuerpos contra la insulina o la glutamato descarboxilasa [enzima intracelular], son clave para su diagnóstico.
2. Diabetes tipo 2: Representa la mayoría de los casos y se asocia con resistencia a la insulina y una secreción deficiente de esta hormona. Suele diagnosticarse en adultos, pero su incidencia en jóvenes ha aumentado debido a la epidemia de obesidad. A diferencia de la diabetes tipo 1, no hay autoanticuerpos presentes.
3. Diabetes gestacional: Se diagnostica durante el embarazo y aumenta el riesgo de complicaciones maternas y fetales. Su detección temprana es crucial para manejar adecuadamente la glucemia y reducir riesgos.
4. Otros tipos específicos: Incluyen formas monogénicas (como la diabetes neonatal o MODY), diabetes secundaria a enfermedades pancreáticas o inducida por fármacos (ElSayed et al., 2023).

El criterio para determinar diagnóstico de la enfermedad se basa en pruebas de glucemia:

- Glucemia en ayunas ≥ 126 mg/dL.
- HbA1c (Hemoglobina glicosilada) $\geq 6.5\%$
[mide el porcentaje de hemoglobina, proteína en glóbulos rojos, unida a glucosa durante los últimos 2–3 meses].
- Glucemia ≥ 200 mg/dL en cualquier momento con síntomas clásicos como poliuria [Orinar frecuentemente] o polidipsia [sed excesiva].
- Prueba de tolerancia oral a la glucosa con glucemia ≥ 200 mg/dL a las 2 horas (ElSayed et al., 2023).

En ausencia de síntomas, se requieren dos pruebas alteradas para confirmar el diagnóstico. La HbA1c es útil por su facilidad, pero puede verse afectada por condiciones como anemias o hemoglobinopatías, requiriendo alternativas en esos casos.

La Prediabetes es un estado intermedio donde los niveles de glucosa están elevados pero no alcanzan los criterios de diabetes. Se identifica mediante:

- Glucemia en ayunas entre 100-125 mg/dL.
- HbA1c entre 5.7-6.4%.
- Prueba de tolerancia oral a la (PTOG) con glucemia entre 140-199 mg/dL a las 2 horas.

Este estado implica un mayor riesgo de desarrollar diabetes y enfermedades cardiovasculares, por lo que se recomiendan intervenciones en el estilo de vida para prevenir su progresión (ElSayed et al., 2023).

Otros aspectos relevantes que pueden ser tratados como consideraciones especiales son:

- Diabetes monogénica: Debe sospecharse en casos de diabetes neonatal o en familias con patrones hereditarios atípicos. El diagnóstico genético permite tratamientos personalizados, como sulfonilureas [tipo de medicamento] en lugar de insulina.
- Diabetes postrasplante: Relacionada con el uso de inmunosupresores [fármacos que afectan al sistema inmunológico], requiere monitorización y manejo individualizado.
- Cribado: Se recomienda en adultos a partir de los 35 años, o antes en personas con factores de riesgo como obesidad, antecedentes familiares o etnias de alto riesgo.

El manejo adecuado de la diabetes depende de una clasificación precisa y un diagnóstico temprano. Las estrategias de cribado [detección temprana], junto con la educación sobre factores de riesgo, son esenciales para reducir la carga de la enfermedad y sus complicaciones (ElSayed et al., 2023).

La adopción de hábitos saludables es clave para prevenir o retrasar la aparición de la diabetes tipo 2. Entre las medidas más efectivas se encuentran mantener un peso adecuado, realizar al menos 150 minutos de actividad física semanal, seguir una dieta equilibrada baja en azúcares y grasas saturadas, y evitar el tabaco (World Health Organization, 2024).

El diagnóstico temprano, mediante pruebas accesibles como el análisis de glucosa en sangre, permite iniciar tratamientos oportunos. Mientras que los pacientes con diabetes tipo 1 dependen de la insulina, aquellos con tipo 2 pueden requerir fármacos como metformina, sulfonilureas [antidiabéticos orales] o inhibidores de SGLT-2 [tipo proteína encargada de reabsorber en los riñones la glucosa de la orina a la sangre], junto con medicamentos para controlar la presión arterial y el colesterol. Además, es fundamental realizar seguimientos periódicos para detectar y tratar complicaciones, como retinopatías, neuropatías o úlceras en los pies (World Health Organization, 2024).

La Organización Mundial de la Salud (OMS), mediante la iniciativa *Global Diabetes Compact* (2021), priorizó la lucha contra la enfermedad para abordar la creciente carga global, especialmente en países de ingresos bajos y medios.

La Asamblea Mundial de la Salud (2022) estableció como metas, lograr que el 80% de los diabéticos reciban tratamiento, logren un buen control glucémico ($HbA1c < 8\%$) y de la presión arterial ($< 140/90$ mmHg), reducir el riesgo cardiovascular en al menos el 60% de las personas con diabetes y más de 40 años y que el 100% de las personas diagnosticadas con diabetes tipo 1 tengan acceso a insulina y a tiras reactivas de glucosa para el año 2030 (World Health Organization, 2024).

Prevalencia

La diabetes se ha consolidado como una de las enfermedades crónicas más graves y comunes en la actualidad, con un impacto significativo en la salud pública debido a sus complicaciones potencialmente mortales, su alto coste económico y su efecto en la esperanza de vida. La prevalencia global de la diabetes en adultos de 20 a 79 años alcanzó el 10.5% en 2021, lo que equivale a aproximadamente 536.6 millones de personas. Se proyecta que esta cifra aumente a 783.2 millones para el año 2045, lo que representaría un 12.2% de la población adulta mundial (Sun et al., 2022).

La prevalencia de la diabetes es similar entre hombres (10.8%) y mujeres (10.2%), aunque los hombres presentan tasas ligeramente más altas en los grupos de edad comprendidos entre los 25 y los 69 años (ver figura 7). Por otro lado, la enfermedad es más común en adultos mayores, con un pico del 24% en personas de 75 a 79 años (Sun et al., 2022).

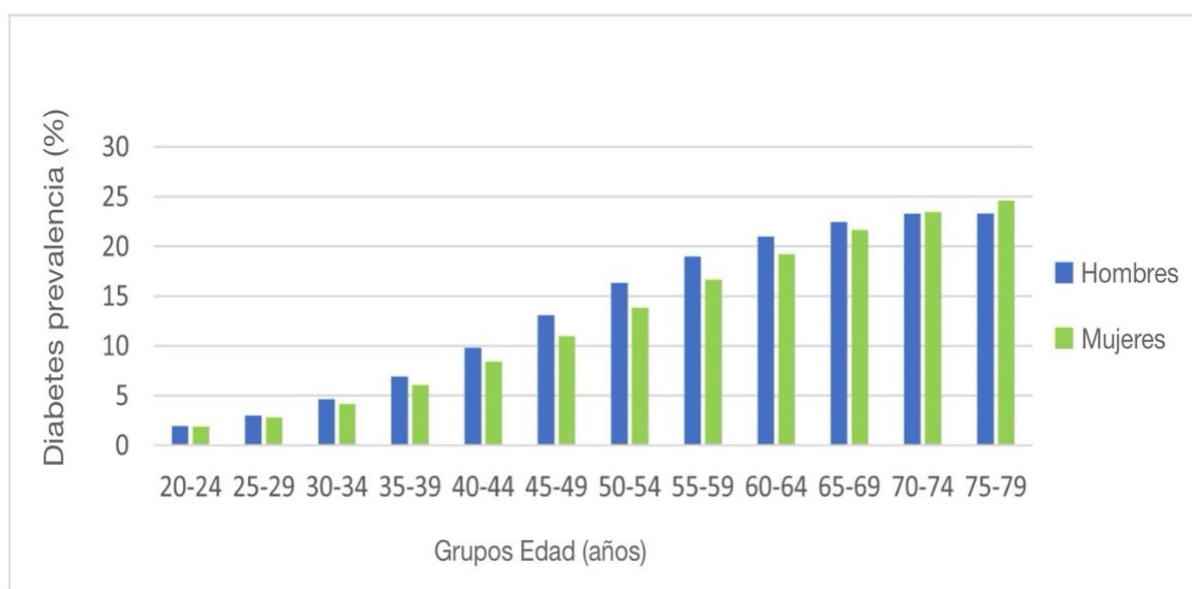


Figura 7. Prevalencia global de la diabetes por edad y sexo en 2021. Fuente: Sun et al., 2022.

El crecimiento exponencial de la diabetes puede atribuirse a múltiples factores interrelacionados:

1. Transición Demográfica: El envejecimiento poblacional es un factor clave, dado que la prevalencia de diabetes aumenta considerablemente con la edad.
2. Urbanización Acelerada: Los estilos de vida asociados a entornos urbanos (dietas hipercalóricas, sedentarismo, estrés) contribuyen al desarrollo de la enfermedad.
3. Cambios Epidemiológicos: La reducción de la mortalidad por diabetes, gracias a mejores tratamientos, paradójicamente aumenta la prevalencia al prolongar la vida de los pacientes.
4. Globalización de Hábitos No Saludables: La difusión mundial de patrones alimenticios occidentales y la disminución de la actividad física (Sun et al., 2022).

Cabe destacar la marcada diferencia existente entre áreas urbanas (12.1%) y rurales (8.3%), lo que sugiere que los entornos urbanos, con sus factores asociados como la dieta y la inactividad física, contribuyen significativamente al desarrollo de la enfermedad (Sun et al., 2022).

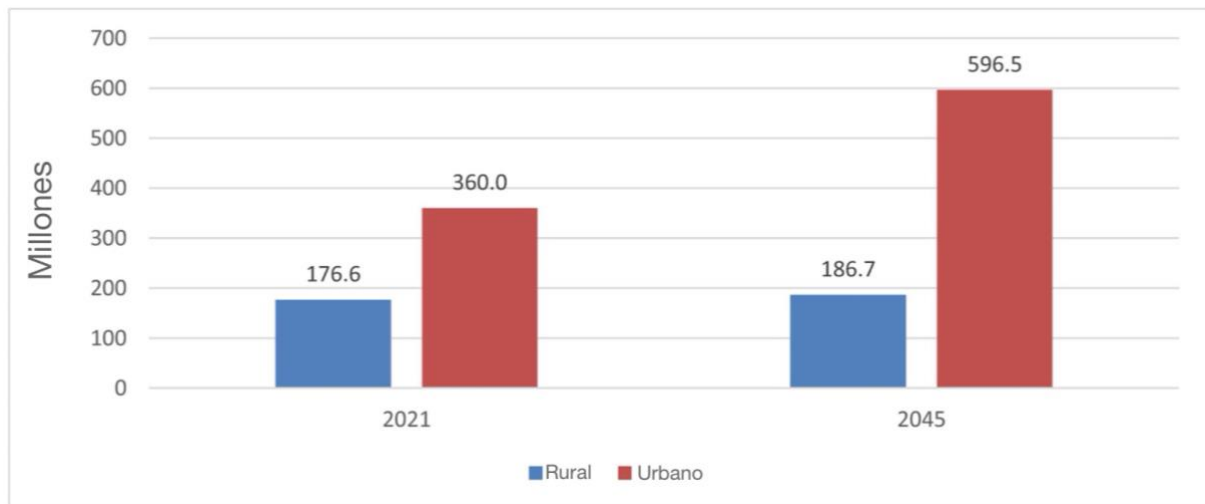


Figura 8. Número de personas adultas entre 20 y 79 años con diabetes que viven en zonas urbanas y rurales en 2021 y estimación para 2045. Fuente: Sun et al., 2022.

Atendiendo a la clasificación de las economías por parte del Banco Mundial realizada en el año 2021 (cuatro grupos de renta en función de la Renta Nacional Bruta per cápita: renta baja [1.085 \$ o menos], renta media-baja [1.086 \$ a 4.255 \$], renta media-alta [4.256 \$ a 13.205 \$] y renta alta [13.206 \$ o más]) los países de ingresos medios registran la mayor prevalencia de diabetes (10,8% y 414 millones de personas), seguidos por los de ingresos altos (11,1% y 103,9 millones de personas) y bajos (5,5% y 18,7 millones de personas). Sin embargo, se espera que los países de ingresos medios experimenten el mayor aumento relativo (21,1%) para 2045, en comparación con los de ingresos altos (12,2%) y bajos (11,9%) (Sun et al., 2022).

Tabla 4. Estimaciones para los años 2021 y 2045 del número de personas adultas, entre 20 y 79 años, con diabetes y de la prevalencia de la enfermedad en el mundo, atendiendo a la clasificación de ingresos del Banco Mundial, junto con los intervalos de incertidumbre, expresados entre paréntesis. Fuente: Sun et al., 2022.

Clasificación Ingresos Banco Mundial	2021			2045		
	Número de personas con diabetes (millones)	Diabetes prevalencia ⁱ (%)	Comparativa diabetes prevalencia ⁱⁱ (%)	Número de personas con diabetes (millones)	Diabetes prevalencia ⁱ (%)	Comparativa diabetes prevalencia ⁱⁱ (%)
Mundo	536.6 (424.2–612.3)	10.5 (8.3–12.0)	9.8 (7.7–11.2)	783.2 (605.2–898.6)	12.2 (9.5–14.0)	11.2 (8.6–12.9)
Países renta baja	103.9 (87.6–116.9)	11.1 (9.3–12.5)	8.4 (7.1–9.6)	117.7 (98.4–132.4)	12.4 (10.4–14.0)	10.3 (8.8–11.7)
Países renta media	414.0 (321.6–470.8)	10.8 (8.4–12.3)	10.5 (8.0–11.9)	623.3 (473.0–709.3)	13.1 (9.9–14.9)	12.0 (9.0–13.6)
Países renta alta	18.7 (15.0–24.6)	5.5 (4.4–7.2)	6.7 (5.5–9.0)	42.2 (33.8–56.9)	6.1 (4.9–8.3)	7.0 (5.8–9.7)

ⁱPrevalencia estandarizada con respecto a las poblaciones nacionales para el respectivo año, grupo de edad 20-79 años

ⁱⁱPrevalencia estandarizada con respecto a la población mundial para el respectivo año, grupo de edad 20-79 años

Cabe mencionar que Oriente Medio y el Norte de África presentan la prevalencia más alta (18,1%), mientras que África tiene la más baja (5,3%) y la región de Asia Pacífico alberga el mayor número absoluto de personas con diabetes (206 millones en 2021) (Sun et al., 2022).

En 2021, el gasto global en salud relacionado con esta enfermedad ascendió a 966 mil millones de dólares, con proyecciones de alcanzar 1.054 mil millones para 2045. Las regiones con mayor gasto per cápita son América del Norte y el Caribe, con 8,209 dólares por persona, mientras que el Sudeste Asiático registra el menor (112 dólares) (Sun et al., 2022).

Este desequilibrio refleja las disparidades en el acceso a recursos y la capacidad de los sistemas de salud para abordar la enfermedad.

Las estimaciones indican que, de mantenerse las tendencias actuales, para 2045:

- El número total de personas con diabetes alcanzará 783,2 millones
 - La prevalencia global aumentará al 12,2%
 - Los países de ingresos medios mostrarán el mayor incremento relativo (21,1%)
 - África experimentará el mayor crecimiento porcentual en número de casos (132,6%)
- (Sun et al., 2022)

Las estimaciones presentadas están sujetas a limitaciones, como la heterogeneidad en los métodos de diagnóstico y la falta de datos en países de bajos ingresos. A pesar de ello, los resultados subrayan la urgente necesidad de implementar políticas efectivas para prevenir y controlar la diabetes, especialmente en contextos urbanos y en países de ingresos medios, donde se anticipa el mayor crecimiento de la enfermedad. El envejecimiento poblacional y la urbanización continuarán impulsando la epidemia, lo que hace esencial fortalecer los sistemas de salud y promover estilos de vida saludables a escala global (Sun et al., 2022).

Aplicaciones IA

Tradicionalmente, la diabetes se ha clasificado en tipos como la 1 y la 2, pero estudios recientes demuestran que esta división puede ser insuficiente. Una de las aplicaciones más relevantes del ML en la diabetes es la clasificación de pacientes en subgrupos con características clínicas similares. Por ejemplo, mediante algoritmos no supervisados, como los de agrupamiento (*clustering*), se han analizado variables como la edad, el índice de masa corporal (IMC), marcadores de resistencia a la insulina y los niveles de hemoglobina glicada para identificar perfiles distintos dentro de una misma enfermedad. Este enfoque permite personalizar el tratamiento y mejorar los resultados en salud (Manzini, Garrido-Aguirre, & Perera-Lluna, 2022).

Otra aplicación prometedora es la predicción del riesgo de desarrollar diabetes o complicaciones asociadas. Existen modelos que utilizan datos de miles de pacientes para crear representaciones vectoriales que facilitan la identificación de individuos con evoluciones clínicas similares. Estas técnicas superan en precisión a los métodos estadísticos tradicionales y han demostrado ser especialmente efectivas en la predicción de eventos como la insuficiencia cardíaca en pacientes diabéticos (Manzini, Garrido-Aguirre, & Perera-Lluna, 2022).

Gracias a la aplicación de la IA es posible también la predicción de la respuesta a tratamientos. Estudios recientes han utilizado ML para estimar la adherencia terapéutica y predecir la eficacia de la insulina en pacientes con diabetes tipo 2. Estos modelos tienen en cuenta variables como el historial médico, la genética y el estilo de vida, lo que permite ajustar las terapias de manera individualizada y mejorar los resultados a largo plazo .

Además, el ML está siendo utilizado para mejorar los sistemas de cribado poblacional. Al analizar datos demográficos, hábitos de vida y marcadores bioquímicos, los algoritmos pueden identificar a personas en riesgo de desarrollar diabetes antes de que aparezcan los síntomas. Esto es especialmente relevante en el caso de la diabetes tipo 2, donde la detección precoz puede retrasar o incluso prevenir la enfermedad mediante cambios en el estilo de vida (Manzini, Garrido-Aguirre, & Perera-Lluna, 2022).

En el ámbito clínico, la IA también está siendo utilizada para apoyar decisiones médicas. Un ejemplo destacado es el análisis automatizado de imágenes retinales mediante redes neuronales convolucionales, capaces de detectar lesiones sutiles asociadas a la retinopatía diabética. Este tipo de herramientas y tecnologías ya están integradas en la práctica médica (Manzini, Garrido-Aguirre, & Perera-Lluna, 2022).

Por otro lado, el ML está contribuyendo a la autogestión de la enfermedad. Aplicaciones móviles emplean algoritmos para predecir niveles de glucosa en sangre, recomendar alimentos adecuados a partir de imágenes o personalizar planes de actividad física. Estas soluciones mejoran significativamente la calidad de vida de los pacientes al empoderarlos en el manejo de su condición (Manzini, Garrido-Aguirre, & Perera-Lluna, 2022).

La efectividad de los modelos de IA se mide mediante métricas como precisión, sensibilidad, especificidad y área bajo la curva ROC (AUC-ROC, área bajo la curva característica operativa del receptor). Esta última es una métrica fundamental para evaluar el rendimiento de modelos de clasificación en inteligencia artificial, es una gráfica que muestra la capacidad de un modelo para distinguir entre dos clases [AUC = 1: Modelo perfecto que clasifica correctamente el 100% de los casos, AUC = 0.5: Modelo no mejor que el azar y AUC < 0.5: Modelo poco común peor que el azar] (Khokhar et al., 2024).

Persisten desafíos como el desbalance de clases en los datos, la necesidad de mayor interpretabilidad de los modelos y la estandarización de protocolos de validación. La colaboración interdisciplinaria entre profesionales de la salud, tecnólogos y legisladores es crucial para superar estas limitaciones y garantizar la aplicabilidad clínica de estas herramientas (Khokhar et al., 2024).

Los modelos de IA para la predicción del riesgo de diabetes tipo 2 pueden clasificarse en dos categorías principales: unimodales y multimodales. Los modelos unimodales utilizan un único tipo de dato, como registros electrónicos de salud (EHR), y han mostrado un rendimiento moderado a alto, con un área bajo la curva (AUC) promedio de 0,809. Entre los algoritmos más empleados se encuentran los árboles de decisión, las máquinas de vectores de soporte (SVM) y los modelos de ensamble. Sin embargo, su limitación radica en que no capturan la complejidad multifactorial de la diabetes (Mohsen et al., 2023).

Por otro lado, los modelos multimodales combinan diversas fuentes de datos, como EHR con información genética, metabolómica o imágenes médicas, logrando un rendimiento superior (AUC promedio de 0,879). Estos modelos aprovechan la complementariedad de los datos para ofrecer una visión más completa del riesgo individual. Por ejemplo, la integración de datos genéticos y clínicos ha demostrado mejorar significativamente la precisión predictiva en comparación con los modelos basados únicamente en factores de riesgo tradicionales (Mohsen et al., 2023).

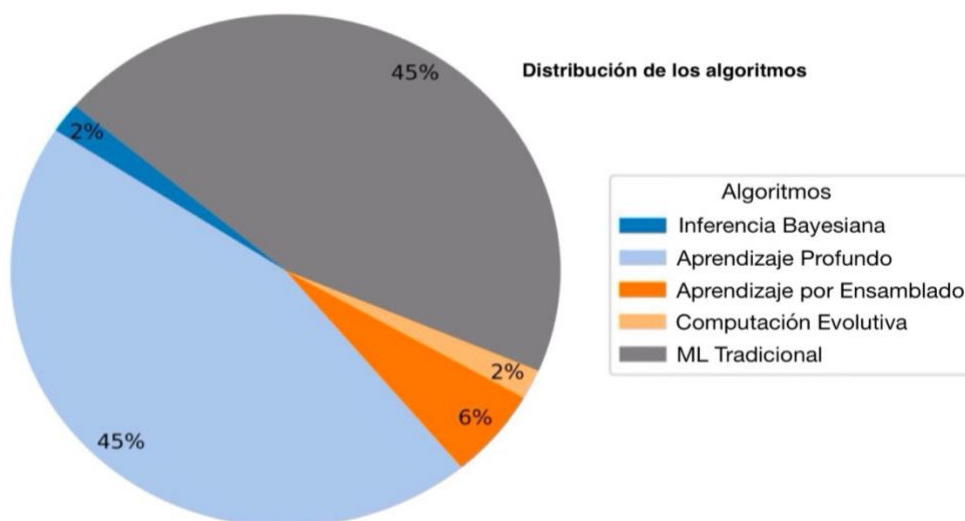


Figura 9. Distribución porcentual de uso de algoritmos en predicción de diabetes. Fuente: Khokhar et al., 2024

Los EHR son la fuente de datos más utilizada, ya que incluyen información demográfica, antecedentes familiares, medidas antropométricas y biomarcadores glucémicos. Los análisis de datos genéticos y metabólicos han ayudado a descubrir nuevos indicadores (biomarcadores) que señalan el riesgo de desarrollar diabetes tipo 2, como variaciones genéticas y determinados perfiles metabólicos. Las imágenes médicas, aunque menos exploradas, han mostrado potencial, especialmente en la detección de patrones tempranos mediante retinografías o tomografías computarizadas (Mohsen et al., 2023).

No obstante, el desarrollo de estos modelos enfrenta desafíos, como la necesidad de una todavía mayor cantidad de datos, el desbalance de clases y la necesidad de validación externa para garantizar su generalización. Además, la interpretabilidad de los modelos es crucial para su adopción clínica, ya que los profesionales de la salud requieren comprender cómo se realizan las predicciones y qué factores contribuyen al riesgo (Mohsen et al., 2023).

Para avanzar en este campo, es esencial promover la transparencia de métodos y de resultados, fomentar la validación externa de los modelos, la combinación de múltiples modalidades de datos y el desarrollo de las técnicas de interpretabilidad para mejorar la utilidad clínica de estas herramientas (Mohsen et al., 2023).

2.5 Virus de la Inmunodeficiencia Humana (VIH)

Enfermedad

El Virus de la Inmunodeficiencia Humana (VIH) y el Síndrome de Inmunodeficiencia Adquirida (SIDA) representan uno de los mayores desafíos en la salud global. Desde su identificación en 1983, el VIH ha cobrado más de 40 millones de vidas en todo el mundo, incluyendo a 1.5 millones de niños. Aunque aún no se ha descubierto una cura, los avances en la terapia antirretroviral (TAR) han transformado el VIH en una condición crónica manejable. Estos tratamientos, combinados con estrategias de prevención eficaces, han hecho posible el objetivo de controlar la pandemia a nivel global (Swinkels et al., 2024).

Al igual que otros virus que causan infecciones crónicas, el VIH pertenece al género *Lentivirus* de la familia *Retroviridae*, lo que explica su capacidad para persistir indefinidamente en el organismo y su lento pero progresivo deterioro del sistema inmunitario. Su principal blanco son los linfocitos T CD4+, células esenciales para la respuesta inmunológica. La destrucción progresiva de estas células debilita el sistema inmunitario, lo que deriva en manifestaciones clínicas graves. Si no se trata, la infección avanza hacia el SIDA, etapa en la que el organismo queda vulnerable a infecciones y ciertos tipos de cáncer, lo que finalmente puede llevar a la muerte (Swinkels et al., 2024).

Existen dos tipos principales de VIH: el VIH-1, responsable de la mayoría de las infecciones a nivel mundial, y el VIH-2, menos común y principalmente concentrado en África Occidental. A pesar de su similitud genética, estos virus difieren en su severidad, transmisibilidad y pronóstico (Swinkels et al., 2024).

La transmisión del VIH ocurre a través de fluidos corporales como sangre, semen, secreciones vaginales, leche materna y líquido amniótico. Las principales vías de contagio incluyen el contacto sexual sin protección, el uso compartido de agujas contaminadas, la transmisión vertical (de madre a hijo durante el embarazo, parto o lactancia) y en contextos de precariedad sanitaria, a través de instrumentos médicos mal esterilizados (Swinkels et al., 2024).

La infección por VIH progresa en tres etapas principales:

1. Infección aguda: Ocurre semanas después de la exposición al virus y puede presentarse con síntomas similares a los de una gripe, como fiebre, fatiga, dolor muscular y erupciones cutáneas. Esta fase coincide con una alta replicación viral y una disminución rápida de los linfocitos CD4+.
2. Fase crónica o asintomática: Puede durar años sin manifestaciones clínicas evidentes, aunque el virus sigue dañando el sistema inmunitario. Algunos pacientes experimentan linfadenopatía persistente [agrandamiento prolongado de los ganglios linfáticos que refleja la activación inmunológica crónica provocada por la infección viral y puede servir como marcador clínico temprano de la progresión de la enfermedad] o infecciones leves recurrentes.
3. SIDA: Es la etapa más avanzada, caracterizada por un recuento de CD4+ inferior a 200 células/mm³ y la aparición de enfermedades oportunistas, como tuberculosis, neumonía y sarcoma de Kaposi [tipo de cáncer poco común que puede causar lesiones cutáneas desfigurantes y afectación visceral] (Swinkels et al., 2024).

El diagnóstico se realiza mediante pruebas de laboratorio que detectan anticuerpos, antígenos o material genético del virus. Las pruebas de cuarta generación, que identifican tanto antígenos como anticuerpos, son las más utilizadas por su alta sensibilidad y especificidad. En casos de sospecha temprana, se emplean pruebas de amplificación de ácidos nucleicos para detectar el ARN viral [técnicas moleculares que detectan el material genético del VIH en sangre] (Swinkels et al., 2024).

El pilar del tratamiento del VIH es la terapia antirretroviral (TAR), que combina fármacos de distintas clases para inhibir la replicación viral. Los objetivos principales son suprimir la carga viral, restaurar la función inmunológica y prevenir la transmisión. Las clases de antirretrovirales incluyen:

- Inhibidores de la transcriptasa inversa análogos de nucleósidos: bloquean la enzima viral esencial para su replicación.
- Inhibidores de la transcriptasa inversa no análogos de nucleósidos: actúan sobre la misma enzima pero en un sitio diferente.
- Inhibidores de la integrasa: impiden la integración del ADN viral en el genoma humano.
- Inhibidores de la proteasa: evitan la maduración de nuevas partículas virales (Swinkels et al., 2024).

Las guías actuales recomiendan iniciar el TAR inmediatamente después del diagnóstico, independientemente del recuento de CD4+. Esto ha demostrado reducir significativamente la progresión a SIDA y mejorar la calidad de vida. Además, se enfatiza la importancia de la adherencia al tratamiento para evitar el desarrollo de resistencias virales (Swinkels et al., 2024).

La prevención del VIH abarca estrategias como el uso de preservativos, la circuncisión médica voluntaria en regiones de alta prevalencia, los programas de intercambio de jeringas y la profilaxis preexposición (estrategia preventiva basada en el uso de medicamentos antirretrovirales por personas sin VIH) para personas en alto riesgo de contraerlo. El concepto "indetectable = intransmisible" (I=I) ha revolucionado la prevención, demostrando que las personas con carga viral suprimida no transmiten el virus por vía sexual (Swinkels et al., 2024).

A nivel global, iniciativas como los objetivos 95-95-95 de ONUSIDA buscan que, para 2025, el 95% de las personas con VIH conozcan su estado, el 95% reciban TAR y el 95% logren supresión viral. Aunque los desafíos persisten, especialmente en entornos con recursos limitados, la colaboración entre equipos interprofesionales, políticas públicas inclusivas y el avance científico continúan acercando al mundo a la meta de erradicar la pandemia (Swinkels et al., 2024).

El VIH/SIDA ha evolucionado de una sentencia de muerte a una condición manejable, pero su control requiere esfuerzos sostenidos en educación, acceso equitativo a la salud y combate contra el estigma. La investigación y la innovación terapéutica siguen siendo clave para lograr un futuro libre de esta enfermedad (Swinkels et al., 2024).

Prevalencia

A pesar de ello, el Virus de la Inmunodeficiencia Humana (VIH) sigue siendo uno de los mayores desafíos para la salud pública a nivel mundial. Según los últimos datos epidemiológicos, en 2022 aproximadamente 39 millones de personas vivían con el VIH, con un rango estimado entre 33,1 y 45,7 millones .

Esta cifra refleja la magnitud de la epidemia, que afecta de manera desigual a diferentes grupos poblacionales y regiones geográficas. Entre los adultos (mayores de 15 años), la prevalencia es particularmente alta, con 37,5 millones de casos, mientras que en niños menores de 15 años se estima que 1,5 millones viven con el virus (Organización Mundial de la Salud, 2023).

Un aspecto crítico de la respuesta al VIH es el progreso hacia los objetivos conocidos como 95-95-95, establecidos para 2025. En 2022, se observaron avances significativos pero insuficientes: el 86% de las personas con VIH conocían su estado, el 89% de ellas estaban en tratamiento y el 93% de los tratados habían logrado la supresión viral.

Sin embargo, persisten brechas importantes, especialmente en la población infantil, donde solo el 63% de los niños con VIH conocían su diagnóstico y el 81% de los tratados alcanzaron la supresión viral. Para alcanzar las metas globales, aún es necesario que 3,5 millones de personas adicionales conozcan su estado, 2,1 millones accedan al tratamiento y 570.000 logren la supresión viral (Organización Mundial de la Salud, 2023).

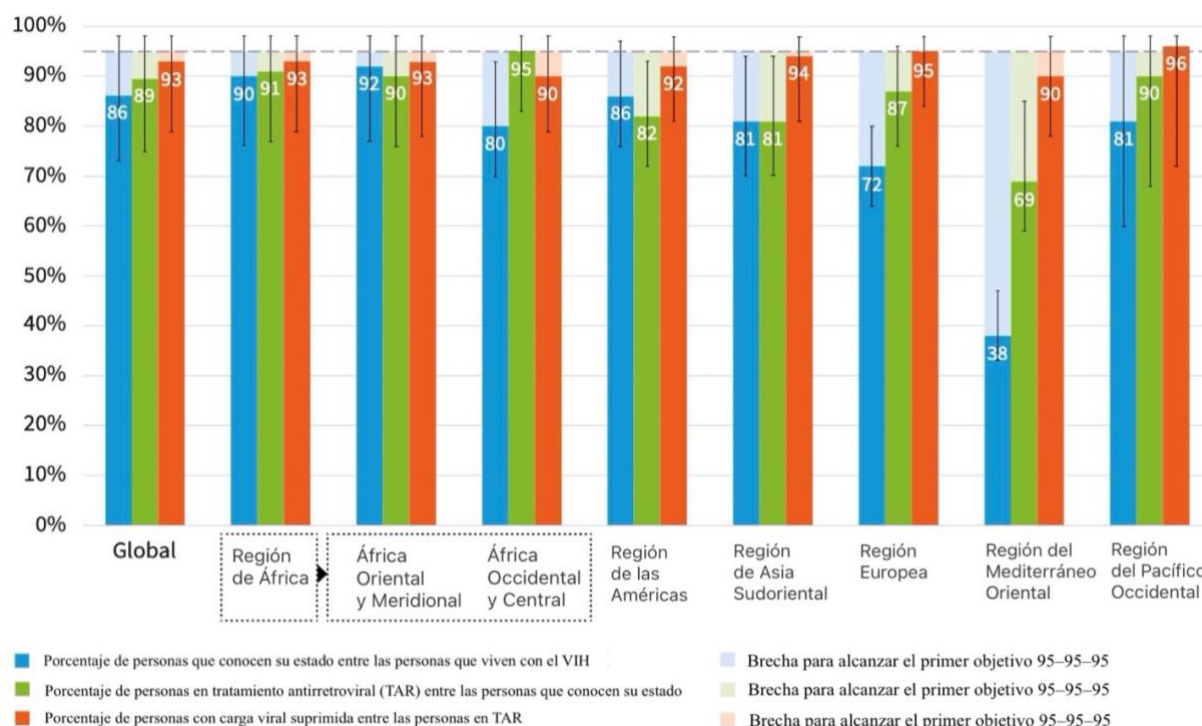


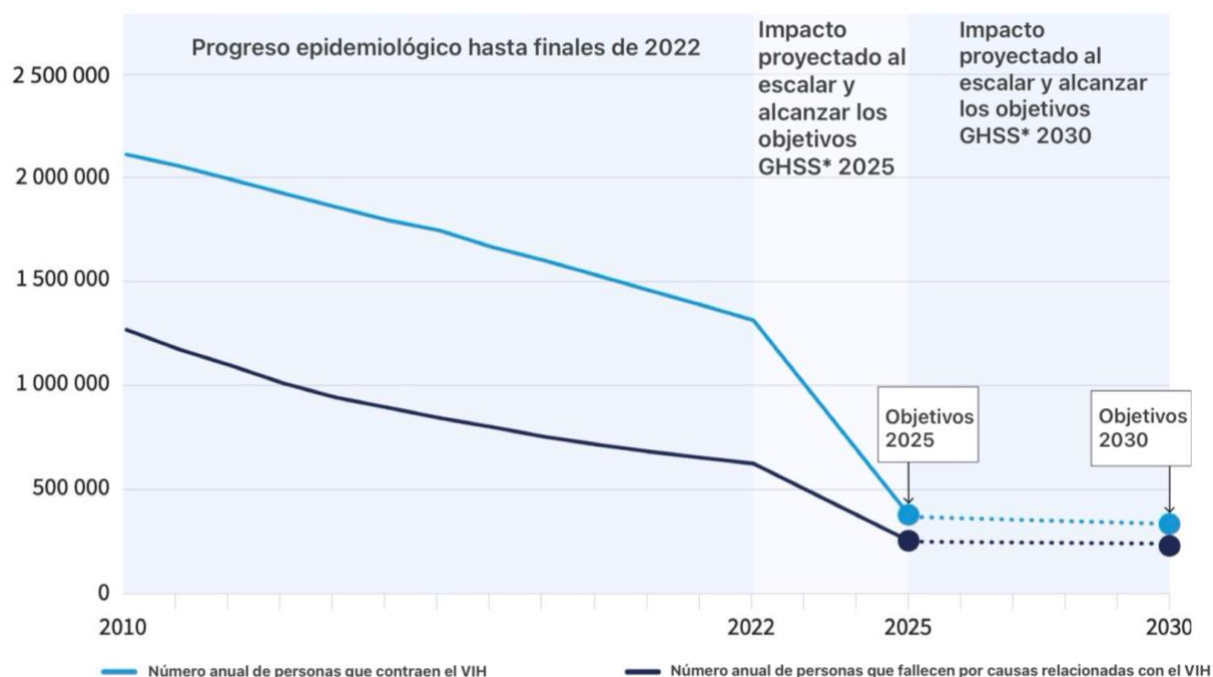
Figura 10. Progresos hacia la consecución de los objetivos 95-95-95. Fuente: (OMS, 2023)

La carga del VIH varía considerablemente entre regiones. La Región de África es la más afectada, con 25,6 millones de personas viviendo con el VIH en 2022, lo que representa aproximadamente el 66% del total global. Esta región también muestra los mayores avances en el cumplimiento de los objetivos 95-95-95, con un 90% de las personas conociendo su estado, un 82% en tratamiento y un 76% con supresión viral. No obstante, la incidencia sigue siendo alta, con 660.000 nuevas infecciones en 2022, aunque se ha reducido significativamente desde 2010.

En contraste, la Región del Mediterráneo Oriental presenta los indicadores más bajos: solo el 38% de las personas con VIH conocían su estado, el 27% recibía TAR y el 24% había logrado la supresión viral. Esta región también experimentó un aumento del 72% en las muertes relacionadas con el VIH desde 2010, lo que subraya la necesidad de intensificar los esfuerzos en diagnóstico y tratamiento (Organización Mundial de la Salud, 2023).

Otras regiones, como las Américas y Europa, muestran patrones intermedios. En las Américas, el 86% de las personas con VIH conocían su estado, pero solo el 71% estaban en tratamiento. En Europa, aunque la cobertura de tratamiento es del 63%, se registró un aumento del 37% en las muertes relacionadas con el VIH desde 2010, junto con un incremento en la tasa de nuevas infecciones, lo que sugiere desafíos persistentes en la prevención y el acceso a la atención (Organización Mundial de la Salud, 2023).

Desde 2010, se han logrado avances notables en la reducción de nuevas infecciones y muertes relacionadas con el VIH. A nivel global, el número de nuevas infecciones disminuyó un 38%, pasando de 2,1 millones en 2010 a 1,3 millones en 2022. Las muertes relacionadas con el VIH también se redujeron un 51% en el mismo período, de 1,3 millones a 630.000. Estos logros son el resultado de la expansión de los programas de prevención, diagnóstico y tratamiento, pero aún están lejos de las metas establecidas para 2025 y 2030 (Organización Mundial de la Salud, 2023).



* Global Health Sector Strategy de la OMS

Figura 11. Tendencias globales de personas que contraen el VIH y fallecen por causas relacionadas, 2010–2022 y proyecciones hasta 2030. Fuente: (OMS, 2023)

Las proyecciones indican que, si se mantienen los esfuerzos actuales, es posible reducir aún más la incidencia y la mortalidad. Sin embargo, para alcanzar los objetivos de menos de 370.000 nuevas infecciones y menos de 250.000 muertes anuales para 2025, será necesario abordar las desigualdades regionales y fortalecer los sistemas de salud, especialmente en las áreas más afectadas y con menor acceso a los servicios (Organización Mundial de la Salud, 2023).

La epidemia del VIH continúa siendo un problema de salud pública global, con una prevalencia elevada y distribuciones desiguales entre regiones y grupos poblacionales. Aunque se han realizado progresos significativos en el diagnóstico, tratamiento y control de la enfermedad, persisten desafíos importantes para alcanzar las metas internacionales. Los datos epidemiológicos resaltan la urgencia de una respuesta coordinada y basada en evidencia para lograr el fin del sida como amenaza para la salud pública para 2030 (Organización Mundial de la Salud, 2023).

Aplicaciones IA

Una de las herramientas prometedoras para mejorar el acceso al diagnóstico es la autoprueba de VIH, recomendada por la Organización Mundial de la Salud (OMS) como una opción válida para la profilaxis previa a la exposición (PrEP). No obstante, su implementación ha sido limitada, en parte debido a preocupaciones sobre la interpretación incorrecta de los resultados, lo que podría llevar a falsos negativos o positivos con consecuencias graves, como retrasos en el inicio del tratamiento o la prescripción inadecuada de PrEP (Roche et al., 2024).

En este contexto, la inteligencia artificial (IA), específicamente la visión por ordenador es una solución potencial para mejorar la precisión en la interpretación de las autopruebas de VIH. Estudios preliminares han demostrado que los algoritmos de IA pueden igualar o incluso superar el rendimiento de los profesionales de la salud en la lectura de pruebas rápidas de diagnóstico, como las utilizadas para COVID-19, malaria y otras enfermedades (Roche et al., 2024).

Esta técnica ya ha sido aplicada para interpretar imágenes de autopruebas de VIH realizadas en farmacias privadas de Kisumu, Kenia. El algoritmo desarrollado utilizó un conjunto de más de 11.000 imágenes de pruebas de VIH, capturadas bajo diversas condiciones ambientales y con diferentes dispositivos móviles. Estas imágenes fueron etiquetadas por un panel de expertos, cuyo consenso se utilizó como referencia para entrenar y validar el modelo (Roche et al., 2024).

Los resultados mostraron que el algoritmo de IA logró una sensibilidad del 100%, detectando correctamente todos los casos positivos, y un valor predictivo negativo del 100%, lo que significa que no pasó por alto ninguna infección. Además, su especificidad fue del 98,8%, con solo un pequeño porcentaje de falsos positivos. En comparación, los farmacéuticos y los clientes mostraron una sensibilidad ligeramente menor (97,7% y 93,2%, respectivamente) y cometieron algunos falsos negativos, lo que resalta la ventaja de la IA para evitar errores críticos (Roche et al., 2024).

Las herramientas de IA también permiten identificar a las personas con mayor probabilidad de contraer VIH/ITS, facilitando intervenciones dirigidas y optimizando el uso de recursos en entornos con limitaciones. Tradicionalmente, las herramientas de predicción de riesgo para VIH se basaban en modelos de regresión logística. Aunque útiles, estos métodos presentaban limitaciones, como la incapacidad de evaluar simultáneamente múltiples ITS o de adaptarse a patrones complejos de comportamiento sexual. Para superar estas barreras, se han desarrollado modelos avanzados de aprendizaje automático, que utilizan algoritmos capaces de analizar grandes conjuntos de datos y predecir el riesgo de infección con mayor precisión (Latt et al., 2024).

Se emplean datos demográficos, conductuales y clínicos autodeclarados, junto con diagnósticos confirmados en laboratorio, para generar puntuaciones de riesgo individualizadas. Estas puntuaciones, que oscilan entre 0 y 1, permiten clasificar a los individuos en grupos de alto o bajo riesgo. Las herramientas han demostrado una capacidad notable para discriminar entre estos grupos, con áreas bajo la curva [AUC-ROC, área bajo la curva característica operativa del receptor] que varían entre 0,70 y 0,84 para distintas ITS (Latt et al., 2024).

Uno de los aspectos críticos en la aplicación de herramientas de IA es la definición de umbrales óptimos que equilibren sensibilidad y especificidad. Un umbral demasiado alto podría excluir a personas en riesgo, mientras que uno demasiado bajo podría saturar los servicios de salud con pruebas innecesarias (Latt et al., 2024).

La capacidad de identificar subgrupos de alto riesgo tiene implicaciones profundas para la salud pública. Por un lado, permite dirigir recursos limitados hacia quienes más los necesitan, como campañas de pruebas intensivas, asesoramiento personalizado o profilaxis preexposición (PrEP) para VIH. Por otro lado, reduce la carga sobre los sistemas de salud al evitar pruebas innecesarias en poblaciones de bajo riesgo (Latt et al., 2024).

Otro ejemplo destacado del uso de la Inteligencia Artificial (IA) contra el VIH es el desarrollo de un sistema predictivo creado en Chile, el cual utiliza algoritmos de *Machine Learning* para analizar datos de pacientes y anticipar quiénes podrían abandonar su terapia. Este avance mejora la atención clínica y también tiene implicaciones significativas para la salud pública.

El sistema, desarrollado por un equipo interdisciplinario de la Universidad de Chile, se basa en el análisis de más de 250 variables relacionadas con cada paciente. Estas variables abarcan aspectos farmacológicos, clínicos, socioeconómicos y conductuales, como el consumo de sustancias o el nivel de apoyo social. Mediante la combinación de estos datos, el modelo clasifica a los pacientes según su probabilidad de adherencia en una escala del 1 al 5, permitiendo identificar aquellos con mayor riesgo de abandonar el tratamiento (Universidad de Chile, 2022).

Uno de los aspectos más innovadores de este sistema es su capacidad para ofrecer intervenciones personalizadas. Por ejemplo, si un paciente presenta un alto riesgo de abandono debido al consumo de alcohol, el equipo médico puede enfocarse en abordar ese problema específico. Esta aproximación individualizada mejora los resultados clínicos y optimiza el uso de recursos al dirigir esfuerzos hacia quienes más los necesitan (Universidad de Chile, 2022).

La adherencia a los tratamientos contra el VIH es crucial por varias razones. En primer lugar, cuando los pacientes no siguen su terapia de manera regular, el virus puede mutar y desarrollar resistencia a los medicamentos, limitando las opciones terapéuticas disponibles. Esto representa un problema grave, ya que el número de fármacos efectivos no es ilimitado. Además, una adherencia adecuada fortalece el sistema inmunológico del paciente y reduce el riesgo de transmisión del virus, lo que beneficia tanto al individuo como a la comunidad (Universidad de Chile, 2022).

Herramientas como la desarrollada en Chile pueden contribuir a acercarse a los objetivos 95-95-95, establecidos para 2025, al mejorar la retención de pacientes en los programas de tratamiento. En el futuro, se espera expandir este prototipo a otros centros de salud en Chile y Latinoamérica (Universidad de Chile, 2022).

3. Capítulo III: Industrialización de procesos clínicos mediante IA

3.1 Estrategia de transformación del modelo asistencial en Quirónsalud

El sistema sanitario actual enfrenta desafíos significativos, como el incremento sostenido de la demanda asistencial, la escasez de profesionales y la necesidad de reducir la variabilidad clínica. Este es el caso de los cuatro hospitales, gestionados por Quirónsalud en la Comunidad de Madrid, que han proporcionado la información necesaria para el desarrollo de este trabajo (H. Rey Juan Carlos, H. General de Villalba, H. Infanta Elena y H. Fundación Jiménez Díaz, denominados RED4H) (Quirónsalud, UICO, 2022).

Además de atender las necesidades sanitarias de su población asignada, estos centros también prestan servicios a pacientes que ejercen el derecho a la Libre Elección que garantiza la legislación madrileña, permitiendo a los ciudadanos seleccionar el hospital de su preferencia dentro de la red pública (Ley 6/2009, de 16 de noviembre, de Libertad de Elección en la Sanidad de la Comunidad de Madrid).

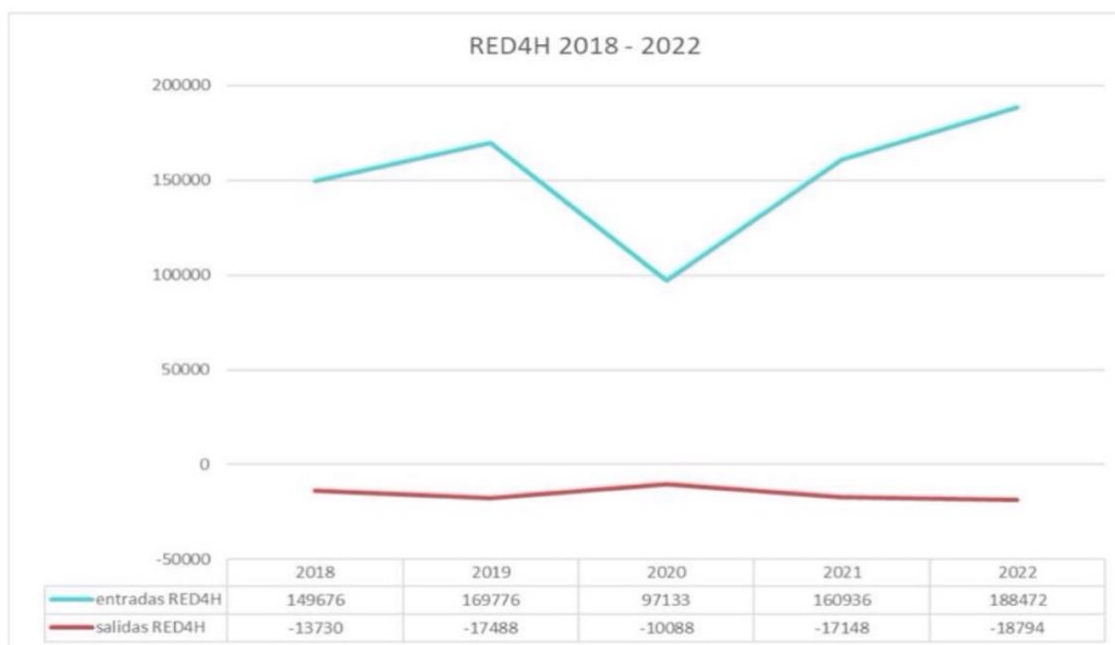


Figura 12. Evolución demanda servicios hospitalarios RED4H. Fuente: Quirónsalud, UICO, 2022.

En este contexto, Quirónsalud ha implementado una estrategia innovadora basada en la estandarización de trayectorias asistenciales mediante vías clínicas y planes de citas, con el objetivo de optimizar recursos, mejorar la calidad de la atención y garantizar la sostenibilidad del sistema. Esta transformación, liderada por la Unidad de Innovación Clínica y Organizativa (UICO, unidad organizativa de la empresa que persigue la mejora de los resultados en los grupos de interés formados por pacientes clínicos y gestores), se ha centrado en redefinir los procesos asistenciales tradicionales, pasando de un modelo reactivo a uno proactivo y resolutivo.

La estrategia de Quirónsalud representa un modelo de éxito en la transformación digital y organizativa de los sistemas sanitarios. Se sustenta en una sinergia entre el análisis de grandes volúmenes de datos (*Big Data*) y la aplicación de sistemas de Inteligencia Artificial (IA), creando un modelo asistencial estandarizado, basado en el consenso clínico y altamente eficiente.

La estrategia se sustenta en tres pilares fundamentales:

1. Pre-asistencia (“antes”):

- Preparación de consultas: Se garantiza que los pacientes lleguen a la primera consulta con las pruebas diagnósticas necesarias ya realizadas, gracias a protocolos anticipados basados en motivos de derivación.
- Herramientas clave:
 - Protocolos con pruebas: Asociados a motivos clínicos específicos, permiten solicitar pruebas de forma automatizada.
 - *Command Center*: Facilita la gestión administrativa mediante un sistema de inteligencia artificial que asigna protocolos sin intervención subjetiva.

2. Asistencia hospitalaria (“durante”):

- Estandarización y automatización:
 - Vías clínicas: Secuencias de actividades automatizadas para cuadros clínicos específicos.
 - Planes de citas: Programación estandarizada de consultas y pruebas diagnósticas.
- Reducción de la variabilidad clínica: Los profesionales cuentan con herramientas de soporte a la decisión clínica, asegurando prácticas basadas en evidencia.
- Mejora de la calidad y aumento de la eficiencia de las consultas mediante la automatización de la documentación clínica gracias al procesamiento del lenguaje natural con el Modelo Scribe, una IA que transcribe las consultas médicas.

3. Post-asistencia (“después”):

- Evaluación del valor real percibido por los pacientes: Mediciones precisas y continuas de los resultados percibidos por los pacientes para guiar la toma de decisiones clínicas mediante la aplicación del programa E-Res Salud.
- Continuidad asistencial: Se fomenta la participación activa del paciente mediante herramientas digitales (Portal del Paciente) y la adaptación personalizada de las consultas.

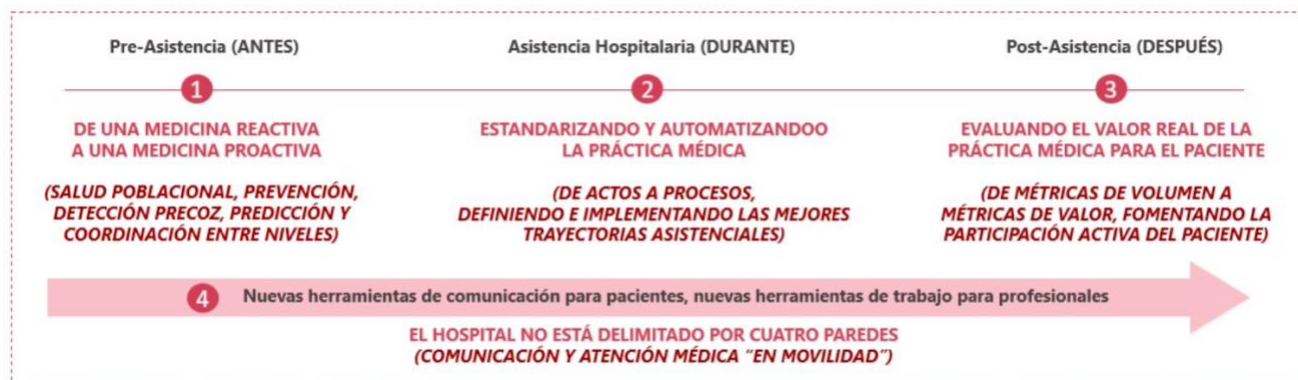


Figura 13. Transformación de procesos asistenciales. Fuente: Quirónsalud, UICO, 2022.

La fase de pre-asistencia (antes, preparación proactiva del proceso diagnóstico) constituye el cimiento de la transformación del modelo, orientado a eliminar tiempos muertos y garantizar que los pacientes accedan a la primera consulta especializada con toda la información diagnóstica necesaria. La fase asistencia hospitalaria (durante, estandarización y automatización de la práctica clínica) busca transformar consultas tradicionales en procesos resolutivos, reduciendo la variabilidad y mejorando la eficiencia. El enfoque post-asistencial (después, evaluación y continuidad basadas en valor) prioriza resultados tangibles y la experiencia del paciente, cerrando el ciclo asistencial (Quirónsalud, UICO, 2022).

3.1.1 Pre-asistencia

En el actual contexto sanitario no caben retrasos diagnósticos o terapéuticos debido a procesos asistenciales prolongados o redundantes, pues se caracteriza por la escasez de profesionales y el incremento sostenido de la demanda asistencial. Ha sido por lo tanto necesario redefinir los circuitos tradicionales de atención médica, eliminando los actos médicos que no aporten valor al paciente y que generan ineficiencias en el sistema, pudiendo tener consecuencias negativas para la salud de los pacientes.

La falta de especialistas en determinadas áreas, unida al aumento de la demanda asistencial (provocado por cambios en el perfil epidemiológico de los pacientes y factores sociales), exige una reorganización de los procesos para garantizar la sostenibilidad del sistema sin comprometer la calidad de la atención. Una atención médica de calidad no solo debe basarse en criterios científico-técnicos, sino también en la rapidez y eficiencia con la que se ofrece, pues un retraso en el diagnóstico o tratamiento, incluso cuando la atención es técnicamente adecuada, puede tener un impacto significativo en la evolución clínica del paciente. Los circuitos tradicionales suelen depender de prácticas heterogéneas, lo que deriva en solicitudes de pruebas innecesarias o duplicadas, así como en consultas sucesivas que no siempre contribuyen a la resolución del caso.

Impulsada por la necesidad de optimizar recursos, reducir tiempos de espera y mejorar la calidad asistencial la empresa Quirónsalud ha redefinido en sus hospitales el proceso tradicional de atención en la primera consulta de especialidad. El modelo clásico se caracteriza por un flujo de trabajo en el que el paciente debe esperar un tiempo considerable para acceder a una primera consulta en la que se lleva a cabo la solicitud de las pruebas diagnósticas. Posteriormente, en una segunda consulta, se realiza la revisión de resultados y la toma de decisiones clínicas.

Este esquema, aunque es ampliamente utilizado, prolonga el proceso diagnóstico-terapéutico contribuyendo a la saturación de las agendas médicas con consultas sucesivas que no siempre aportan valor al paciente.

En contraste, el modelo optimizado propuesto por Quirónsalud, redefine este flujo al anticipar la realización de pruebas diagnósticas antes de la primera consulta con el especialista. Este enfoque se sustenta en protocolos previamente validados que determinan las exploraciones complementarias necesarias en función del motivo de derivación y las características del paciente. De esta manera, la primera consulta se convierte en un acto resolutivo, equiparable a la segunda consulta del modelo tradicional, ya que el especialista cuenta con toda la información diagnóstica requerida desde el inicio.

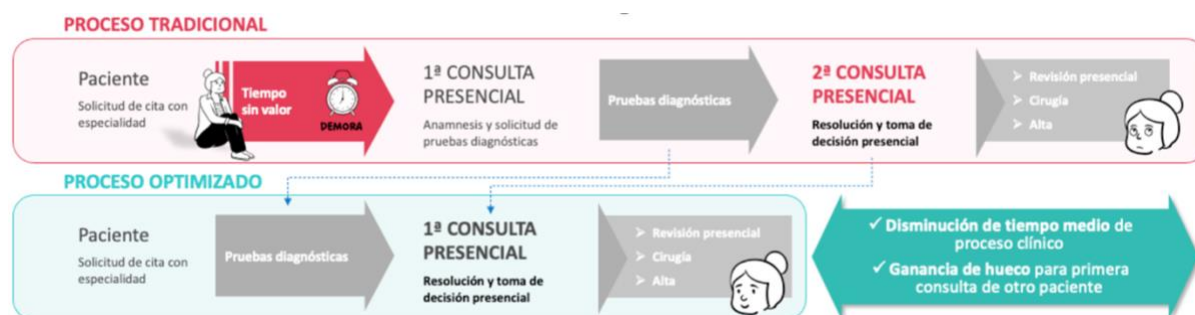


Figura 14. Rediseño del modelo de atención. Fuente: Quirónsalud, Dirección General Corporativa, 2023.

A partir de 2019, los hospitales de la red Quirónsalud en la Comunidad de Madrid iniciaron un análisis exhaustivo de los patrones de derivación y atención, utilizando como base el motivo de consulta, las pruebas diagnósticas solicitadas y el número de visitas requeridas hasta alcanzar un diagnóstico definitivo. Este estudio, realizado a partir de historias clínicas electrónicas de cuatro centros sanitarios, permitió identificar los siguientes criterios clave para la optimización:

- Pruebas diagnósticas complementarias: Se determinaron aquellas exploraciones esenciales para que la primera consulta con el especialista fuera resolutive, es decir, que contara con toda la información necesaria para decidir entre el alta médica, la inclusión en lista de espera quirúrgica o el seguimiento.
- Perfil del paciente: Se consideraron variables como edad, sexo, antecedentes clínicos, embarazo o condiciones específicas, que podrían modificar el protocolo de actuación.
- Perfil del profesional: Se analizó qué tipo de especialista mostraba mayor capacidad resolutive en cada caso.

Tras la identificación inicial de patrones, los equipos clínicos revisaron los datos para determinar las diferencias debidas a la variabilidad clínica, consensuando protocolos basados en evidencia (el consenso clínico de los especialistas fue fundamental para validar el modelo). Además, los servicios de diagnóstico por imagen, laboratorio y microbiología participaron en la adecuación de los perfiles de pruebas, optimizando las solicitudes para evitar redundancias. El resultado fue un catálogo de protocolos de derivación que asocia cada motivo de consulta con las pruebas necesarias y el especialista idóneo para resolver el caso.

La integración de dicho catálogo de vías clínicas automatizadas al funcionamiento de los hospitales se ha hecho mediante una herramienta denominada Gestor de Casos (Command Center), en la plataforma Casiopea (el sistema informático usado por la empresa en sus centros), a finales de 2022. Dicha incorporación ha representado un avance significativo en la gestión administrativa de los procesos clínicos.

El Command Center funciona como un escritorio de trabajo centralizado que consolida toda la información relevante sobre solicitudes de pruebas, citaciones médicas y protocolos aplicados. Esta integración permite al personal administrativo acceder a una "fotografía completa" del estado actual de cada paciente, incluyendo:

- Historial de pruebas diagnósticas realizadas
- Protocolos aplicados en consultas anteriores
- Próximas citas programadas
- Resultados pendientes de evaluación

El sistema incorpora herramientas inteligentes de apoyo que guían al personal administrativo mediante:

- Flujos de trabajo predefinidos basados en protocolos médicos
- Preguntas estandarizadas validadas por especialistas
- Árboles de decisión automatizados que determinan el protocolo adecuado para cada caso.

El proceso de gestión de citas para primeras consultas de especialidad en el CMANDC (*Command Center*) sigue un protocolo estandarizado diseñado para optimizar la atención al paciente y garantizar la eficiencia en la asignación de recursos. Este sistema, basado en formularios guiados y herramientas digitales, permite determinar el motivo de consulta preciso y aplicar los protocolos correspondientes de manera sistemática.

Cuando un usuario contacta para solicitar cita en una especialidad incluida en los protocolos de primera consulta, el sistema guía al administrativo a través de un proceso estructurado:

- Recopilación de información clínica relevante mediante formularios estandarizados
- Asignación automática de protocolos según criterios preestablecidos
- Generación de solicitudes de pruebas complementarias cuando corresponda

En primer lugar, se informa al paciente que, según las directrices médicas establecidas, se le realizarán una serie de preguntas específicas. El objetivo de este cuestionario es identificar sus necesidades clínicas con precisión para poder programar, en una única gestión, tanto las pruebas diagnósticas requeridas como la consulta con el especialista correspondiente.

Los gestores utilizan formularios digitales diseñados por los servicios médicos, que contienen preguntas validadas clínicamente. A medida que el paciente responde, el sistema analiza sus respuestas mediante algoritmos predefinidos para determinar el motivo de consulta principal. Esta evaluación automatizada permite vincular cada caso con un protocolo específico de actuación, asegurando que las pruebas solicitadas sean las adecuadas para el cuadro clínico presentado.

El sistema puede generar tres tipos de resultados distintos tras completar el formulario:

1. Asignación directa de protocolo sin requerimiento de consentimiento informado:

Cuando la herramienta identifica claramente un motivo de consulta con un protocolo asociado que no necesita autorización expresa del paciente, procede automáticamente a gestionar las citas necesarias. El sistema accede a la agenda del centro seleccionado por el usuario y programa tanto las pruebas diagnósticas como la consulta médica, siguiendo las pautas establecidas por el servicio correspondiente. Un aspecto innovador de este proceso es la verificación automática de pruebas recientes: si el paciente tiene resultados de imágenes

diagnósticas realizadas en los últimos cuatro meses, el sistema las considera válidas y las excluye de las nuevas solicitudes, evitando duplicidades y optimizando recursos.

2. Indeterminación del protocolo a aplicar:

En casos donde el formulario no logra identificar un protocolo claro, el gestor deriva la consulta a un equipo de facultativos del Hospital Digital. Estos profesionales analizan el caso con mayor profundidad y emiten una recomendación en el menor tiempo posible. Una vez recibida esta valoración médica, el gestor se pone nuevamente en contacto con el paciente para completar la gestión de su cita.

3. Casos especiales que requieren “Consulta Digital de Avance”:

Cuando la herramienta no puede asignar un protocolo o cuando el protocolo identificado requiere consentimiento informado, se ofrece al paciente una cita telemática inmediata, permitiendo una valoración médica en tiempo real para resolver situaciones que no pueden gestionarse mediante los protocolos estándar.

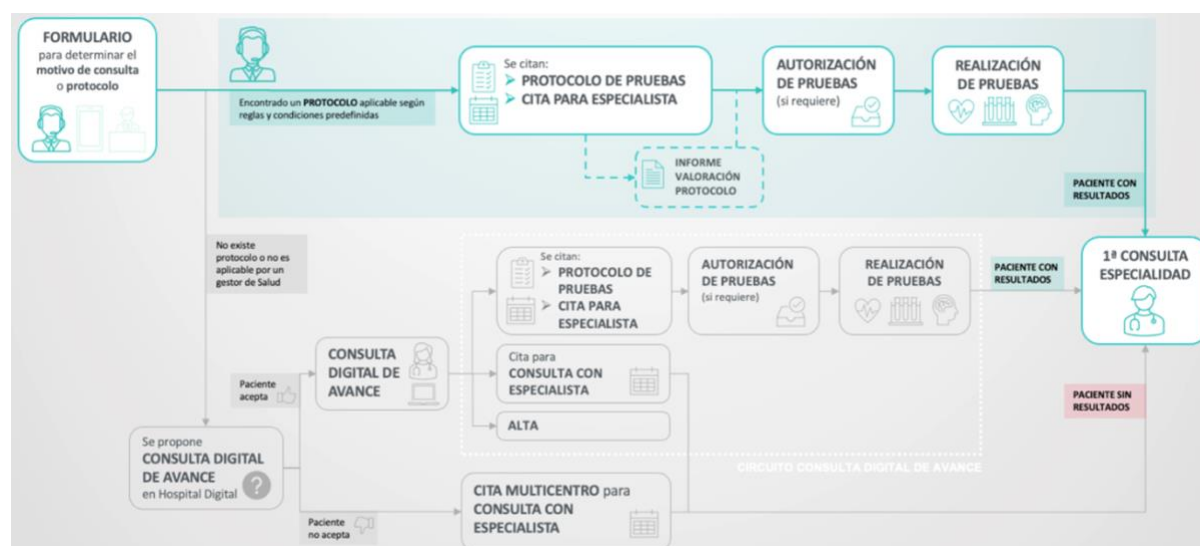


Figura 15. Flujo completo del modelo de protocolos de primera consulta. Fuente: Quirónsalud, Dirección General Corporativa, 2023.

En todos los casos, se respeta la autonomía del paciente. Si este decide no aceptar las pruebas propuestas, el sistema permite citarle directamente con el especialista o, en caso de no disponibilidad inmediata, incluirle en lista de espera. Este enfoque garantiza flexibilidad mientras se mantienen los estándares de calidad asistencial.

Para garantizar la aplicación uniforme de estos protocolos, se implementó un sistema de Inteligencia Artificial (IA) que, mediante un diccionario de palabras clave derivado del análisis previo, asigna automáticamente el protocolo correspondiente al motivo de derivación (Quirónsalud, Dirección General Corporativa, 2023).

El sistema desarrollado sigue un modelo determinista, donde la clasificación de los informes de derivación se realiza mediante un algoritmo de NLP que analiza el texto y asigna automáticamente el protocolo correspondiente. Este proceso se estructura en las siguientes etapas:

1. Creación de Diccionarios Especializados

Se conformaron equipos para identificar términos clínicos clave en los informes de derivación, asociándolos a protocolos específicos de pruebas diagnósticas. Estos términos se extrajeron de una base de datos histórica de derivaciones y se validaron por expertos clínicos, generando diccionarios especializados por área médica (ej. cardiología, neurología).

2. Análisis Automatizado mediante NLP

Cada informe de derivación es procesado por el algoritmo, que identifica las palabras clave contenidas en los diccionarios y asigna el protocolo estandarizado correspondiente. La lógica de clasificación se basa en etiquetado de texto (*text labelling*), lo que permite

resultados explicables y adaptables. Por ejemplo, la inclusión de nuevos criterios clínicos no requiere reprocesar los textos originales, sino modificar las reglas de asignación.

3. Priorización y Validación

Se implementó una matriz de priorización interprotocolos para cada tipo paciente, asegurando que casos urgentes (como sospecha de malignidad) sean gestionados con mayor celeridad. Además, los resultados del algoritmo se revisan periódicamente para detectar falsos positivos (poco frecuentes debido al enfoque determinista) y falsos negativos, que sirven para refinar los diccionarios. Los casos no clasificados se analizan para identificar posibles nuevas categorías clínicas a incorporar (Álvaro de la Parra et al., 2024).

Además, desde 2022, un *contact center* con personal administrativo especializado y referentes clínicos se encarga de ajustar continuamente los protocolos en función de los resultados obtenidos, incorporando mejoras a los formularios digitales que los pacientes completan antes de la consulta. Estos formularios permiten recoger antecedentes clínicos relevantes y se integran en la historia clínica electrónica en tiempo real, cumpliendo con los requisitos legales y deontológicos de la práctica médica.

Al reducir el número de consultas sucesivas innecesarias, se liberan espacios en las agendas de los especialistas, permitiendo atender a un mayor volumen de nuevos pacientes en primera consulta sin comprometer la calidad asistencial (eficiencia en la gestión de agendas médicas). Por lo tanto, el paciente accede de manera más rápida a un diagnóstico definitivo y a un plan terapéutico adecuado, ya sea mediante tratamiento médico, seguimiento o inclusión en lista de espera quirúrgica (aceleración del proceso clínico). La estandarización de protocolos basados en evidencia asegura que las pruebas solicitadas sean las estrictamente necesarias, minimizando actos clínicos redundantes o de bajo valor (reducción de la variabilidad clínica).

Este procedimiento presenta múltiples beneficios:

- Estandarización: Reduce la variabilidad en la toma de decisiones iniciales mediante protocolos validados.
- Eficiencia: Minimiza el número de interacciones necesarias para completar el proceso de cita.
- Precisión diagnóstica: Asegura que los pacientes lleguen a la consulta especializada con las pruebas adecuadas ya realizadas.
- Optimización de recursos: Evita la repetición innecesaria de pruebas diagnósticas.

La implementación sistemática de esta estrategia asistencial, desarrollada en colaboración con los equipos especialistas y con el soporte permanente del contact center, ha demostrado un impacto significativo en la capacidad resolutive del sistema. Los datos comparativos revelan una mejora sustancial cuando se contrastan los periodos pre y post implementación:

Período pre-pandemia:

- Tasa global de resolución en primera consulta: 6%
 - Altas médicas: 5%
 - Inclusiones en Lista de Espera Quirúrgica (LEQ): 1%

Período post-implementación:

- Tasa global de resolución en primera consulta: 37%
 - Altas médicas: 30%
 - Inclusiones en LEQ: 7%

Este incremento del 31% en la capacidad resolutive representa una mejora de más de seis veces en la eficiencia del proceso asistencial inicial. La implementación de este sistema representa un avance significativo en la gestión de la demanda asistencial, combinando tecnología con protocolos clínicos para mejorar tanto la experiencia del paciente como la eficiencia del sistema sanitario.

Los protocolos asistenciales se encuentran sistemáticamente organizados siguiendo una estructura departamental, agrupándose según las diferentes especialidades médicas. Esta configuración por servicios permite una navegación intuitiva para los profesionales, una aplicación coherente con los flujos de trabajo hospitalarios y una adaptación específica a las necesidades de cada área clínica.

Cada protocolo clínico contiene información estandarizada que garantiza su correcta aplicación:

1. Identificación del protocolo:
 - Denominación específica que refleja su ámbito de aplicación.
 - Codificación única para su identificación en el sistema.
2. Motivo de consulta/derivación asociado:
 - Descripción precisa de las circunstancias clínicas que activan el protocolo.
3. Prestaciones incluidas:
 - Pruebas diagnósticas:
 - Listado exhaustivo de exploraciones complementarias.
 - Codificación unívoca en el sistema Casiopea (idExterno).
 - Perfiles de laboratorio:
 - Enumeración detallada de todas las determinaciones analíticas.
4. Criterios de selección COP (centro de operaciones del paciente):
 - Los protocolos incorporan directrices específicas para su activación desde el COP (Quirónsalud, Dirección General Corporativa, 2023).

A continuación se detallan los protocolos, desarrollados por los especialistas que trabajan en Quirónsalud, para la mejora en la eficiencia de la gestión hospitalaria de los pacientes que padecen VIH, EPOC, insuficiencia cardíaca o diabetes:

Protocolos Endocrinología:

PROT. AVANCE END_16 - DIABETES TIPO 2

- Nombre protocolo PROT. AVANCE END_16 - DIABETES TIPO 2
- Motivo consulta DIABETES TIPO 2
- Prestaciones .PERFIL AVANCE END_16 DIABETES TIPO 2
 - ✓ HDL Colesterol suero 10045230
 - ✓ Colesterol LDL (Formula de Friedewald) 10040099
 - ✓ Colesterol total suero 10040100
 - ✓ Creatinina suero 10040101
 - ✓ Gamma-GT suero 10040222
 - ✓ Glucosa suero 10040732
 - ✓ HEMOGLOBINA GLICOSILADA 10040220
 - ✓ HEMOGRAMA 10040107
 - ✓ Microalbumina orina 10040479
 - ✓ Potasio suero 10041759
 - ✓ SISTEMATICO DE ORINA 10040230
 - ✓ Sodio suero 10040112
 - ✓ AST (GOT) suero 10040229
 - ✓ ALT (GPT) suero 10040113
 - ✓ Triglicéridos suero 10040217
 - ✓ Urea suero 10040223
 - 10040221
 - BIOIMPEDANCIA 10023406
 - ELECTROCARDIOGRAFIA 10020429
 - CONSULTA PRIMERA (Endocrinología General) 10010020
- Criterios para la petición desde el Centro de operaciones del paciente (COP)

Motivo llamada	Pregunta antecedente	Edad	Aclaración/ Pregunta Adicional
DIABETES TIPO 2	Glucemia Elevada (azúcar alto, glucosa alta) y/o elevación Hemoglobina glicosilada (HB A1C)	-	"Diagnosticada en la edad adulta: Diabetes Mellitus tipo 2 (DMtipo2) En general, la enfermedad aparece en adultos y es más frecuente a medida que avanza la edad; hasta un tercio de los adultos > 65 años de edad tienen tolerancia alterada a la glucosa. Presentan resistencia a la insulina."
DIABETES TIPO 2	DIABETES TIPO 2 (la más común): diagnosticada en la EDAD ADULTA	-	En general, la enfermedad aparece en adultos y es más frecuente a medida que avanza la edad; hasta un tercio de los adultos > 65 años de edad tienen tolerancia alterada a la glucosa (azúcar o glucosa elevada). Presentan resistencia a la insulina

Figura 16. Vía clínica estandarizada diabetes tipo 2. Fuente: Quirónsalud, Dirección General Corporativa, 2023.

PROT. AVANCE END_2 - DIABETES TIPO1

- Nombre protocolo **PROT. AVANCE END_2 - DIABETES TIPO1**
- Motivo consulta **DIABETES TIPO1**
- Prestaciones **.PERFIL AVANCE END_2 DIABETES TIPO1**
 - ✓ Albúmina suero 10045236
 - ✓ Bilirrubina total suero 10040226
 - ✓ HDL Colesterol suero 10040227
 - ✓ Colesterol LDL (Formula de Friedewald) 10040099
 - ✓ Colesterol total suero 10040100
 - ✓ Creatinina suero 10040101
 - ✓ Fosfatasa alcalina suero 10040222
 - ✓ Gamma-GT suero 10040105
 - ✓ Glucosa suero 10040732
 - ✓ HEMOGLOBINA GLICOSILADA 10040220
 - ✓ HEMOGRAMA 10040107
 - ✓ Microalbumina urinaria 24h 10040479
 - ✓ Potasio suero 10040700
 - ✓ Proteínas totales suero 10040230
 - ✓ Sodio suero 10040358
 - ✓ AST (GOT) suero 10040229
 - ✓ ALT (GPT) suero 10040113
 - ✓ Triglicéridos suero 10040217
 - ✓ TSH suero 10040223
 - Consulta Primera (Endocrinología) 10040254
10010020
- Criterios para la petición desde el Centro de operaciones del paciente (COP)

Motivo llamada	Pregunta antecedente	Edad	Aclaración/ Pregunta Adicional
DIABETES TIPO 1	DIABETES tipo 1:La diabetes mellitus tipo 1 SE DIAGNOSTICA durante la infancia o la adolescencia, no producen insulina y necesitan administrársela, tratados Con Insulina		

Figura 17. Vía clínica estandarizada diabetes tipo 1. Fuente: Quirónsalud, Dirección General Corporativa, 2023.

Protocolos Neumología

PROT. AVANCE NML_3 - SOSPECHA DE EPOC

- Nombre protocolo **PROT. AVANCE NML_3 - SOSPECHA DE EPOC**
- Motivo consulta **SOSPECHA DE EPOC**
- Prestaciones **ESTUDIO FUNCIONAL EPOC**
 - RX TORAX AP 10020463
 - RX TORAX LAT 10031912
 - CONSULTA PRIMERA (Neumología) 10031473
10010374
- Criterios para la petición desde el Centro de operaciones del paciente (COP)

Motivo llamada	Pregunta antecedente	Edad	Aclaración/ Pregunta Adicional
SOSPECHA DE EPOC	Fumador con dificultad para respirar/episodios de bronquitis recurrentes sin mejoría con tratamiento	-	-

Figura 18. Vía clínica estandarizada EPOC. Fuente: Quirónsalud, Dirección General Corporativa, 2023.

Protocolos Cardiología

PROT. AVANCE CAR_12 - INSUFICIENCIA CARDIACA

- Nombre protocolo **PROT. AVANCE CAR_12 - INSUFICIENCIA CARDIACA**
- Motivo consulta **INSUFICIENCIA CARDIACA**
- Prestaciones **.PERFIL AVANCE CAR_12-INSUFICIENCIA CARDIACA**
 - ✓ Ácido úrico suero 10045211
 - ✓ Calcio suero 10040072
 - ✓ Cloro suero 10040149
 - ✓ HDL Colesterol suero 10040231
 - ✓ Colesterol total suero 10040099
 - ✓ Creatinina suero 10040101
 - ✓ Creatinina suero 10040222
 - ✓ Gamma-GT suero 10040732
 - ✓ Glucosa suero 10040220
 - ✓ LDH suero 10040234
 - ✓ Potasio suero 10040230
 - ✓ Sodio suero 10040229
 - ✓ ALT (GPT) suero 10040217
 - ✓ Triglicéridos suero 10040223
 - ✓ Urea suero 10040221
 - ✓ HEMOGRAMA 10040479
 - ✓ TSH suero 10040254
 - ✓ Péptido natriurético cerebral N-Terminal (NT-proBNP) 10040492
 - ECOCARDIOGRAFIA TRANSTORACICA 10020075
 - ELECTROCARDIOGRAFIA 10020429
 - RX TORAX PA Y LAT 10030002
 - CONSULTA PRIMERA (Cardio) 10010020
- Criterios para la petición desde el Centro de operaciones del paciente (COP)

Motivo llamada	Pregunta antecedente	Edad	Aclaración/ Pregunta Adicional
INSUFICIENCIA CARDÍACA	Ha sido diagnosticado de Insuficiencia Cardíaca	-	-

Figura 19. Vía clínica estandarizada Insuficiencia Cardíaca. Fuente: Quirónsalud, Dirección General Corporativa, 2023.

Protocolos Medicina Interna

PROT. AVANCE MIR_3 - VIH

- Nombre protocolo PROT. AVANCE MIR_3 - VIH
- Motivo consulta VIH
- Prestaciones .PERFIL AVANCE MIR_3 VIH
 - ✓ HEMOGRAMA 10045360
 - ✓ Glucosa suero 10040479
 - ✓ Urea suero 10040220
 - ✓ BUN (Nitrógeno ureico) suero 10040221
 - ✓ Creatinina suero 10040455
 - ✓ Bilirrubina total suero 10040222
 - ✓ Bilirrubina directa suero 10040227
 - ✓ Ácido úrico suero 10040228
 - ✓ Calcio suero 10040072
 - ✓ AST (GOT) suero 10040149
 - ✓ ALT (GPT) suero 10040113
 - ✓ Fosfatasa alcalina suero 10040217
 - ✓ Gamma-GT suero 10040105
 - ✓ LDH suero 10040732
 - ✓ CK (Creatin Quinasa) suero 10040234
 - ✓ Proteínas totales suero 10040464
 - ✓ Albúmina suero 10040358
 - ✓ Sodio suero 10040226
 - ✓ Potasio suero 10040229
 - ✓ Cloro suero 10040230
 - ✓ Colesterol total suero 10040231
 - ✓ HDL Colesterol suero 10040101
 - ✓ Colesterol LDL (Formula de Friedewald) 10040099
 - ✓ Triglicéridos suero 10040100
 - ✓ Vitamina D 25-Hidroxi suero 10040223
 - ✓ SISTEMATICO DE ORINA 10040273
 - ✓ VIH ag. p24 + HIV-1/2 ac. Suero 10040112
 - ✓ Resistencia Genotípica a Antiretrovirales 10040134
 - ✓ Antígeno de Histocompatibilidad HLA B57 PCR 10041278
 - ✓ POBLACIONES LINFOCITARIAS 10044413
 - ✓ Cuantificación RNA VIH-1 10041337
 - ✓ Hepatitis A ac. totales suero 10040214
 - ✓ Hepatitis B Core ac. totales suero 10040763
 - ✓ Hepatitis B ac. superficie cuantitativos suero 10041607
 - ✓ Hepatitis B ag. Superficie suero 10040264
 - ✓ Hepatitis C ac. totales suero 10040728
 - ✓ RPR suero 10040250
 - ✓ TPHA suero 10040272
 - ✓ Citomegalovirus ac. IgG suero 10041534
 - ✓ Toxoplasmosis ac. IgG suero 10040119
 - ✓ QUANTIFERON 10040132
 - ✓ 10041539
 - RX TORAX LAT 10031473
 - RX TORAX AP 10031912
 - CONSULTA PRIMERA (Medicina Interna) 10010834

- Criterios para la petición desde el Centro de operaciones del paciente (COP)

Motivo llamada	Pregunta antecedente	Edad	Aclaración/ Pregunta Adicional
VIH	VIH positivo	-	-

Figura 20. Vía clínica estandarizada VIH. Fuente: Quirónsalud, Dirección General Corporativa, 2023.

3.1.2 Asistencia hospitalaria

La automatización de la documentación clínica mediante procesamiento de lenguaje natural es posible gracias al Modelo Scribe, una IA que transcribe las consultas médicas.

Con respecto a su origen y evolución conceptual, cabe mencionar que la idea detrás de Scribe no es novedosa en esencia, sino que se enmarca en una necesidad histórica, descargar a los profesionales de tareas repetitivas para que puedan centrarse en actividades de mayor valor. Su analogía podría remontarse a figuras como los escribas de la antigüedad, que permitían a líderes o emperadores delegar labores de registro.

En el contexto médico, Scribe surge como una solución tecnológica para automatizar la documentación clínica, liberando al facultativo de la carga burocrática asociada a la historia clínica. Además, es un sistema de apoyo a la decisión clínica y su función actual incluye la emisión de recomendaciones diagnósticas o terapéuticas.

Scribe opera mediante un proceso multifase que combina tecnologías de *speech-to-text* (STT) y modelos de lenguaje avanzados (*Large Language Models*, LLMs). En cuanto a su funcionamiento actual y al proceso de salto de la conversación a la historia clínica estructurada:

2. Captura y transcripción:

El sistema registra la conversación entre médico y paciente, ya sea en consultas presenciales o en remoto, convirtiendo el diálogo en texto. A diferencia del *Natural Language Processing* (NLP) tradicional, los LLMs permiten una comprensión contextualizada, reconociendo terminología médica y matices semánticos (por ejemplo, diferenciar entre "EPOC agudizado" y "EPOC estable").

3. Interpretación y estructuración:

La transcripción se procesa mediante un motor de IA agnóstico (actualmente basado en ChatGPT, pero diseñado para ser interoperable con otros modelos). Este motor identifica:

- Entidades clínicas relevantes: síntomas, diagnósticos, tratamientos previos.
- Acciones derivadas: peticiones de pruebas (radiografías, analíticas) y prescripciones (paracetamol 1g/8h). La salida se organiza en formularios predefinidos de la historia clínica, combinando lenguaje natural con campos estructurados (ej.: *"Paciente derivado de atención primaria por EPOC agudizado en el último mes"*).

4. Propuestas automatizadas y validación médica:

Scribe genera sugerencias de actuación (peticiones, prescripciones), pero la decisión final recae siempre en el médico, quien puede modificarlas, añadir observaciones o rechazarlas. Este enfoque híbrido preserva la autonomía profesional mientras optimiza el flujo de trabajo.

Uno de los valores diferenciales de Scribe es su capacidad para permitir al médico mantener el contacto visual con el paciente, eliminando la dependencia de teclear durante la consulta. El sistema permite también que se aprovechen las interacciones previas a la entrada del paciente en la consulta (ej.: *"Paciente con reagudización de EPOC, derivado de primaria"*), simulando la dinámica de un médico que orienta a un residente. Esta naturalidad en la interacción (humanización de la consulta) ha sido clave para su adopción, aunque inicialmente existió resistencia a su adopción clínica por el temor a errores en las transcripciones o la pérdida de control.

La experiencia en entornos como Quirónsalud demuestra que, una vez superada la fase de adaptación, los profesionales valoran positivamente la reducción de tiempo dedicado a documentación. La adopción de herramientas como Scribe en entornos sanitarios debe evaluarse mediante indicadores cuantitativos y cualitativos que permitan medir su impacto tanto en la operativa clínica como en la percepción de los *stakeholders*.

Estos indicadores se alinean con tres dimensiones clave: eficiencia operativa, satisfacción de usuarios (pacientes y profesionales), y reputación institucional.

1. Indicadores de eficiencia operativa:

a) Reducción del tiempo de espera:

Uno de los principales beneficios de Scribe es la optimización del flujo de consulta. Al automatizar la documentación clínica, se reduce el tiempo que el médico dedica a tareas administrativas, lo que puede traducirse en:

- Mayor disponibilidad de citas: Agilización del proceso de atención sin incrementar recursos humanos.
- Disminución de retrasos en consultas: Eliminación de cuellos de botella asociados al registro manual.
- Metricas concretas: Comparativa de tiempos medios de consulta pre y post- implementación (ej.: reducción del 20-30% en duración total por paciente).

Este indicador es especialmente relevante en entornos con alta demanda, como urgencias o especialidades médicas con listas de espera prolongadas.

2. Satisfacción de usuarios: Net Promoter Score (NPS):

El Índice de Promotores Netos (NPS, por sus siglas en inglés) es una herramienta de análisis cuantitativo que mide la predisposición de los clientes a recomendar una empresa, producto o servicio dentro de su círculo personal o profesional. Se fundamenta en la siguiente pregunta: "del 0 al 10, ¿qué probabilidad existe de que nos recomiende a otros?" Su valor reside en la capacidad de anticipar crecimiento mediante el boca a boca, un factor crítico en entornos competitivos.

a) Pacientes

La implementación de Scribe puede mejorar la experiencia del paciente mediante:

- Atención más personalizada: El médico mantiene contacto visual y enfoque clínico, sin distracciones por tecleo.
- Percepción de modernidad: Asociación de la institución con tecnología innovadora.

El NPS de pacientes (medido mediante encuestas post-consulta) debería reflejar un incremento en la proporción de "promotores", especialmente en grupos demográficos sensibles a la digitalización.

b) Profesionales sanitarios

Aunque inicialmente puede existir resistencia al cambio, la satisfacción del personal médico depende de:

- Reducción de carga burocrática: Liberación de tiempo para actividades asistenciales o formativas.
- Precisión de las transcripciones: Confianza en que el sistema refleja fielmente las interacciones.

El NPS de profesionales debe monitorizarse periódicamente para identificar barreras de adopción y ajustar formaciones o mejoras técnicas.

3. Reputación e intangibles estratégicos

a) Posicionamiento como organización innovadora

La inversión en IA aplicada a la salud refuerza la imagen de Quirónsalud como:

- Referente en transformación digital: Atracción de talento médico y alianzas con empresas tecnológicas.
- Pionero en humanización: Uso de tecnología para priorizar la relación médico-paciente (ej.: campañas de comunicación destacando el "contacto visual sin pantallas").

b) Facilitador de proyectos futuros

Scribe sienta las bases para avanzar en:

- Digitalización transversal: Integración con otros sistemas (historia clínica electrónica, plataformas de telemedicina).
- Proyectos de IA avanzada: Sistemas de apoyo a decisiones más desarrollados, una vez se superen barreras regulatorias.

El ROI (retorno de la inversión) en este ámbito es indirecto pero la infraestructura y experiencia generadas permitirán escalar soluciones con menor inversión marginal.

La monitorización de estos indicadores, combinando datos objetivos (tiempos, NPS) con percepciones cualitativas, es esencial para demostrar el valor de Scribe y justificar su escalabilidad. Además, su éxito puede servir como caso de estudio interno para impulsar la adopción de IA en otras áreas (quirófanos, hospitalización), consolidando un ecosistema sanitario digitalizado, eficiente y centrado en el paciente (evolución hacia un Modelo *Data-Driven*, impulsado por los datos).

Scribe se apoya actualmente en modelos fundacionales de lenguaje (LLMs) como GPT-4 Turbo y GPT-4, sin recurrir a técnicas de *fine-tuning* (afinamiento específico del modelo). La estrategia se basa en:

- Eficiencia operativa: Los modelos actuales tienen capacidades suficientes para comprender y procesar lenguaje médico complejo sin necesidad de reentrenamiento.
- Flexibilidad tecnológica: Al evitar el *fine-tuning*, se mantiene la agnosticidad del sistema, permitiendo intercambiar el motor de IA (OpenAI, Gemini, LLaMA, etc.) sin rediseñar la arquitectura.
- Optimización mediante prompting: El esfuerzo se centra en el diseño de *prompts* (instrucciones contextuales) altamente especializados, refinados a lo largo de más de un año de iteraciones. Estos prompts guían al modelo para:
 - Extraer entidades clínicas relevantes (síntomas, diagnósticos, tratamientos).
 - Adaptarse a terminología específica por especialidad (ej.: "EPOC agudizado" en neumología vs. "estenosis aórtica" en cardiología).
 - Generar salidas estructuradas (informes, peticiones, prescripciones) con consistencia.

Para lograr esta personalización sin recurrir a *fine-tuning*, el sistema emplea mecanismos de adaptación:

a) Prompting dinámico por especialidad

- Plantillas de prompts específicas: Al detectar términos como "EPOC" o "insuficiencia cardíaca", Scribe activa instrucciones predefinidas que guían al modelo a:
 - Buscar datos concretos en el historial (ej.: "Resumir últimos 3 informes de espirometría").
 - Preguntar de forma implícita al médico durante la consulta (ej.: "¿Ha tenido disnea nocturna en el último mes?").

b) Integración con fuentes estructuradas

- Conexión con bases de datos clínicas: Scribe cruza automáticamente la conversación con:
 - Pruebas diagnósticas (resonancias, ecocardios).
 - Eventos relevantes (ingresos, cirugías).
- Generación de resúmenes contextualizados: Por ejemplo, para un paciente con EPOC: *"Paciente con EPOC GOLD 3, FEV1 45% (última espirometría 02/2024). Dos exacerbaciones en últimos 6 meses, sin ingresos. Tratamiento actual: corticoides inhalados."*

c) Priorización de variables críticas

- En EPOC agudizado, el sistema enfatiza síntomas recientes y factores desencadenantes (infecciones, adherencia terapéutica).
- En VIH, prioriza evolución inmunoviológica y efectos adversos de tratamientos.

La arquitectura de Scribe está por lo tanto diseñada para ser independiente del proveedor de IA subyacente, gracias a los mencionados prompts, evitando dependencias técnicas estrictas, y a la interoperabilidad con otros LLMs (posibilitando la migración a alternativas de modelos de IA como Gemini o LLaMA) para poder aprovechar avances en modelos abiertos o cambios en el mercado (ej.: actualizaciones de OpenAI).

No obstante, no se descarta desarrollar capacidades propias en el futuro, especialmente para:

- Casos de uso avanzados: Donde la integración de datos internos mediante técnicas avanzadas de IA (como RAG, Retrieval Augmented Generation o fine-tuning) con historias clínicas anonimizadas podría mejorar la precisión.
- Patologías muy específicas: Que requieran cruce de variables clínicas no cubiertas por modelos generalistas.

Las ventajas y limitaciones de utilizar los modelos fundacionales son:

a) Fortalezas

- Alta adaptabilidad: Los LLMs actuales superan a los sistemas especializados en salud en tareas genéricas (transcripción, resúmenes), gracias a su entrenamiento masivo y capacidades.
- Reducción de costes: Evitar el *fine-tuning* o el desarrollo de modelos propios minimiza inversiones iniciales y riesgos tecnológicos.

b) Retos

- Dependencia de terceros: La evolución de Scribe está ligada a evoluciones externas (ej.: GPT-5 podría desplazar los esfuerzos de prompting realizados).
- Contextualización clínica: Aunque el modelo genera resúmenes de historiales, la relevancia de la información varía por patología (ej.: en EPOC, la frecuencia de exacerbaciones es crítica; en diabetes, el control glucémico). Esto exige prompts especializados por área médica.

Con respecto a la integración con los datos clínicos es importante destacar que Scribe no solo transcribe conversaciones, sino que enriquece la consulta con datos previos del paciente mediante:

- Extracción automatizada de historiales: El sistema identifica eventos pasados (hospitalizaciones, alergias, medicación crónica) y genera un resumen ejecutivo para el médico.
- Priorización de información:
 - En patologías agudas o en enfermedades crónicas, destaca exacerbaciones recientes, factores desencadenantes, enfatiza tendencias en analíticas o los datos sobre la adherencia terapéutica.
- Reducción de carga cognitiva: El médico accede a una síntesis pre-digerida, evitando búsquedas manuales en la historia clínica.

El enfoque actual de Scribe mediante la estrategia elegida por la empresa refleja un equilibrio, balance entre innovación y prudencia

- Aprovecha el estado del arte en IA (LLMs) sin asumir costes de desarrollo propios prematuros.
- Invierte en la capa de valor añadido: Prompting clínico, integración con flujos de trabajo y experiencia de usuario.
- Prepara el terreno para futuras evoluciones: La infraestructura creada permitirá incorporar *fine-tuning* o RAG cuando los casos de uso lo demanden (ej.: medicina personalizada basada en datos propios).

La efectividad de Scribe como asistente de documentación médica depende críticamente de su capacidad para identificar y priorizar la información relevante según la especialidad y la patología del paciente. Mientras que los modelos fundacionales (como GPT-4) ofrecen una base genérica para el procesamiento de lenguaje, la verdadera utilidad clínica surge cuando el sistema puede:

- Filtrar el "ruido" en las conversaciones médico-paciente, destacando solo los datos clínicamente significativos.
- Estructurar outputs diferenciados según las necesidades de cada área médica (ej.: un neumólogo no requiere los mismos datos que un cardiólogo).

Scribe utiliza los catálogos predefinidos de las vías clínicas automatizadas para generar sugerencias de peticiones y prescripciones. Estos catálogos se activan según:

- Especialidad médica (neumología, cardiología, etc.).
- Términos clave en la conversación (ej.: "EPOC", "carga viral", "fracción de eyección").
- Contexto del paciente (historial previo, medicación crónica).

A continuación, se presentan un ejemplo (para el resto de las patologías ver [anexo](#)), incluyendo:

- Transcripción anonimizada de la consulta (entrada en lenguaje natural).
- Outputs estructurados generados por Scribe (peticiones, prescripciones, campos de historia clínica).

CASO NEUMOLOGÍA

Diagnóstico previo devuelto por el sistema

- Su_Apnea del sueño obstructiva.
- Eo_Bronquitis crónica obstructiva (EPOC).

Transcripción

El patrón de estudio inicialmente podía justificarse por la elevación del diafragma, pero se buscaba algún motivo que explicara la elevación del diafragma izquierdo. Para eso le hicieron un TAC de tórax, y aquí está el resultado: corazón de tamaño en el límite superior de la normalidad, calcificaciones ateromatosas en los grandes vasos y el árbol coronario, esófago y tráquea sin alteraciones, nódulos compatibles con pequeñas adenopatías de 11 milímetros a nivel paratraqueal y en la ventana aortopulmonar, micronódulos en el lóbulo inferior derecho indeterminados. Se observan algunos micronódulos calcificados bilaterales residuales, pequeña área en vidrio deslustrado a nivel posterior del lóbulo superior izquierdo indeterminada, imágenes lineales en la lingula del lóbulo inferior izquierdo posiblemente relacionadas con atelectasias laminares o trazos fibrosos cicatriciales. Nódulo de anclaje pleural, marcapasos infraclavicular izquierdo con electrodos terminales en cavidades derechas, litiasis múltiples milimétricas en el riñón izquierdo de 42 milímetros y cambios degenerativos en la articulación atlantoaxial, además del cerclaje del esternón. En principio, no hay nada importante. Los ganglios, cuando miden más de 10 milímetros, los consideramos adenopatías, que pueden ser de origen inflamatorio, infeccioso... Pero bueno, vamos a repasar los antecedentes. ¿Tienes alergias a algo? No ¿Y fumas habitualmente? Sí, todos los días. ¿Y cuantos cigarrillos fumas al día? Pues sobre 12-15, depende del día. Vale. ¿Algún antecedente familiar? Así de pulmón no, pero a mi padre le operaron de apendicitis y a mi madre que quitaron un tumor en la cabeza. Vale, vale. Pues a ver, hay muchas causas para tener ganglios. Los nódulos que tiene son milimétricos y, en principio, se controlarán dentro de un tiempo, pero no son sospechosos de malignidad. Tiene unas lesiones cicatriciales en el pulmón. ¿Eso puede ser de la neumonía que ha tenido? Pudiera ser, sí. Pero no hay nada importante. ¿Y lo que pone ahí, infeccioso inflamatorio? Tiene unas pequeñas áreas en vidrio deslustrado, que es esta manchita que se ve aquí. Eso no tiene mucha importancia. Si no tiene fiebre ni otros síntomas, no hay mayor problema. Nada, fiebre ninguna, en absoluto. Después hablaremos de unas piedras en la vesícula, ¿vale? Eso sería un problema solo si dieran síntomas. Cuando hay piedras en la vesícula, generalmente se recomienda quitarlas, pero con su edad no hay ningún problema, en absoluto. También mencionan en el riñón un quiste de 4 centímetros, pero eso ya se lo dijeron hace 3 años. O sea, lleva tiempo con eso. Perfecto. Usted sigue con su máquina para dormir, ¿no? Con su CPAP, ¿no? Sí, sí. ¿Le va bien? Sí. Y para la EPOC, está con el Anoro, ¿no? Que le pusieron el otro día. Sí, me lo pusieron, pero me dijeron un mes y ya está. Bueno, en principio es un tratamiento mantenido en el tiempo. ¿Ah, sí? Sí, en principio, sí. ¡Qué bien! ¿Entonces sigo tomándolo unos meses? Sí, hasta la próxima revisión debe seguir tomándolo, ¿vale? Le vamos a pedir un TAC para dentro de 6 meses, más que nada para el control de las adenopatías. Correcto. Pero en principio no hay nada más de qué preocuparse. Exacto. Por la preocupación que tenía, está bien, mujer, desde luego. Seguimos con el Anoro, una inhalación cada 24 horas, y control radiológico mediante TAC para dentro de 6 meses. Perfecto. La máquina para dormir sigue con la misma presión, como venía haciendo. Sí, sí.

Respuesta de la IA

Antecedentes

Tabla 5. Antecedentes devueltos por Scribe en caso de Neumología. Fuente: Quirónsalud (Dirección Técnica)

Indicador	Respuesta IA
Alergias	No
¿Fuma o ha sido fumador?	Sí
Nº de cigarrillos / día	15
Dispositivos Implantables	Sí
Marcapasos / Desfibrilador	Sí
Antecedentes Familiares	Padre: apendicectomía. Madre: extirpación de tumor cerebral.

Prescripciones

Tabla 6. Prescripciones devueltas por Scribe en caso de Neumología. Fuente: Quirónsalud (Dirección Técnica)

Fármacos devueltos
ANORO

Peticiones

Tabla 7. Peticiones devueltas por Scribe en caso de Neumología. Fuente: Quirónsalud (Dirección Técnica)

Peticiones devueltas	
TAC TORAX CON CONTRASTE (1449)	
CONSULTA SUCESIVA (0002) - NEUMOLOGÍA GENERAL	
Información adicional	
Prioridad	Rev. 6 meses
Razón	Control de adenopatías y seguimiento de EPOC.

Formulario de consulta

Motivo consulta (lista)

Resultado de pruebas.

Motivo consulta (texto)

Revisión de resultados de TAC de tórax.

Anamnesis

Paciente con antecedentes de EPOC y uso de CPAP para el sueño. Refiere haber tenido neumonía en el pasado. Actualmente en tratamiento con Anoro. No presenta síntomas activos como fiebre o malestar significativo.

Pruebas complementarias

TAC de tórax: corazón de tamaño en límite superior de la normalidad, calcificaciones ateromatosas en grandes vasos y árbol coronario, esófago y tráquea sin alteraciones, nódulos paratraqueales y en ventana aortopulmonar de 11 mm, micro nódulos en lóbulo inferior derecho y calcificados bilaterales, área indeterminada en lóbulo superior izquierdo, imágenes lineales en lingula del lóbulo inferior izquierdo sugestivas de bandas laminares o cicatrices fibrosas, marcapasos infracalicular izquierdo con electrodos en cavidades derechas, litiasis múltiples milimétricas, quiste cortical en riñón izquierdo de 42 mm, cambios degenerativos en articulación atlantoaxial.

Diagnóstico 1

Eo_Bronquitis crónica obstructiva (EPOC).

Diagnóstico 2

Su_Apnea del sueño obstructiva.

Juicio clínico

EPOC con tratamiento actual de Anoro. Apnea del sueño obstructiva manejada con máquina de presión positiva.

Tratamiento

Continuar con Anoro, una inhalación cada 24 horas. Mantener uso de CPAP para el sueño.

Plan y recomendaciones

Programar TAC de seguimiento en 6 meses para control de adenopatías. Mantener vigilancia sobre síntomas de litiasis vesicular y renal. Continuar con medidas de soporte para EPOC y uso de CPAP.

Alta

No.

Scribe permite pasar de la Entropía del lenguaje natural a la estructuración, de la fealdad de las transcripciones a un *output* claro.

Las transcripciones automáticas de consultas son caóticas:

- Errores de STT (*Speech-to-Text*)
- Disfluencias del habla: Pausas, repeticiones ("eh... el dolor, el dolor es aquí").
- Jerga local: "Le duele la *riñoná*" ("región lumbar").

Scribe transforma ese caos lingüístico en:

1. Antecedentes estructurados:
 - Transcripción: "El paciente dice que lo operaron del corazón hace años y toma pastillas para la tensión".
 - Output Scribe:
 - Antecedentes quirúrgicos: Revascularización coronaria (2018).
 - Medicación crónica: Bisoprolol 5 mg/24h, Ramipril 5 mg/24h.

2. Peticiones/prescripciones precisas:

- Transcripción: "Habría que mirarle el azúcar y eso... y quizá subirle la metformina".
- Output:
 - Peticiones: HbA1c, glucemia basal.
 - Prescripción sugerida: Aumentar metformina de 850 mg/12h a 1000 mg/12h.

Este salto de entropía a orden es una gran ventaja de la IA moderna. Los sistemas clásicos (ej.: plantillas de Word) requerían que el médico limpiara manualmente el texto. Scribe lo hace en segundos, preservando el significado clínico.

Los antecedentes son el eslabón más débil en la historia clínica electrónica tradicional:

- Suelen ser campos libres sin estandarizar
- Rara vez se actualizan.

Scribe los aprovecha de la siguiente manera:

1. Extracción automática: Identifica antecedentes nuevos durante la consulta:
 - Diálogo: "Ah, y me dijeron que tengo el azúcar alto". → Scribe añade "DM2 diagnosticada en 2023 (sin tratamiento)".
2. Priorización inteligente:
 - Para un neumólogo, resalta "Tabaquismo 40 paquetes / año" y oculta "Artroscopia rodilla 2005".
3. Vinculación con acciones:
 - Antecedente "Alergia a penicilina" → Bloqueo automático de amoxicilina en prescripciones (Quirónsalud, Dirección Técnica).

3.1.3 Post-asistencia

La atención sanitaria basada en valor requiere mediciones precisas y continuas de los resultados percibidos por los pacientes para guiar la toma de decisiones clínicas y estratégicas. En la era actual de la medicina centrada en el paciente, los sistemas sanitarios buscan cada vez más incorporar la perspectiva de los usuarios en la evaluación de la calidad asistencial. En este contexto, las medidas de resultados reportadas por los pacientes (PROMs, por sus siglas en inglés) y las medidas de experiencia reportadas por los pacientes (PREMs, por sus siglas en inglés) se han consolidado como herramientas fundamentales para evaluar la calidad asistencial desde la perspectiva del paciente.

El programa E-Res Salud (Evaluación de Resultados en Salud), desarrollado por la red Quirónsalud 4H en Madrid, consiste en un modelo digital, lanzado en diciembre de 2019, que permite la recogida, análisis y aplicación de PROMs y PREMs de manera integrada en la práctica clínica y la gestión hospitalaria.

E-Res Salud fue concebido como un sistema configurable y escalable, integrado en el historial clínico electrónico (HCE) de la red Quirónsalud, con el objetivo de:

4. Recoger datos estandarizados sobre resultados de salud y experiencias de los pacientes.
5. Facilitar la toma de decisiones basada en datos tanto a nivel clínico como gerencial.
6. Mejorar la atención centrada en el paciente mediante la personalización de los tratamientos y la comunicación médico-paciente.

El programa se diseñó con un enfoque multidisciplinar, involucrando a líderes clínicos, gestores hospitalarios, expertos e investigadores en tecnología de la información y en resultados en salud y pacientes en su desarrollo. Esta colaboración permitió definir aspectos clave como la selección de cuestionarios, la frecuencia de recogida de datos y la experiencia de usuario.

E-Res Salud opera a través del Portal del Paciente Quirónsalud, una plataforma web vinculada al HCE. Su funcionamiento sigue un proceso estructurado:

2. Selección de condiciones clínicas:

Las primeras condiciones incluidas (por ejemplo, reemplazo articular de cadera y rodilla, neoplasias hematológicas, VIH) fueron seleccionadas por su alta prevalencia, coste asociado y variabilidad en los tratamientos. Para cada condición, se eligieron cuestionarios validados internacionalmente, como el *EuroQoL-5D* o el *Oxford Hip Score*, siguiendo estándares como los del *International Consortium for Health Outcomes Measurement* (ICHOM).

3. Recogida de Datos:

- Los pacientes son inscritos en el programa por sus médicos.
- Los cuestionarios se envían automáticamente en momentos clave (por ejemplo, al diagnóstico, durante el tratamiento, en el seguimiento).
- Las respuestas se integran directamente en el HCE y una base de datos centralizada.

4. Análisis y Aplicación de los Datos:

- Nivel individual: Los médicos acceden a las respuestas de los pacientes antes de las consultas, lo que les permite centrarse en áreas problemáticas (por ejemplo, adherencia al tratamiento en pacientes con VIH).
- Nivel corporativo: Los gestores utilizan dashboards (*Microsoft PowerBI*) para analizar tendencias y priorizar iniciativas (por ejemplo, los datos revelaron que el 68% de pacientes con VIH reportaban incomodidad al recoger medicación en farmacia hospitalaria lo que impulsó la implementación del servicio de entrega domiciliaria de antirretrovirales logrando reducir en un 40% las quejas relacionadas con este aspecto).

En la siguiente figura se puede observar una esquematización del proceso de integración del programa E-Res Salud en la práctica clínica de los hospitales:



Figura 21. Integración del programa E-Res Salud en la práctica clínica. Fuente: Rodríguez et al., 2023.

En junio de 2023, E-Res Salud había logrado:

- Participación de 18.602 pacientes (40,25% de los registros) en 15 condiciones clínicas.
- Alta satisfacción: El 62,75% de los pacientes calificó el programa con 9 o 10 puntos en una escala de 0 a 10 (NPS).
- Mejoras operativas:
 - Implementación de alertas clínicas para pacientes con insuficiencia cardíaca o neoplasias hematológicas, donde respuestas críticas desencadenan contactos telefónicos en menos de 48 horas.
 - Programa de entrega domiciliaria de antirretrovirales para VIH, implementado tras identificar en los PREMs el estigma asociado a recoger medicación en farmacia hospitalaria (los pacientes pagan exclusivamente el transporte)
 - Optimización de procesos asistenciales, reorganización de circuitos clínicos basada en datos de PREMs/PROMs, rediseño de espacios físicos y creación de grupos de apoyo virtuales con moderación profesional.
 - Sistema de seguimiento proactivo, contacto telefónico por enfermería antes de 48h (52,91% antes de 24h) ante alertas y protocolo de triaje para asesoramiento sintomático, derivación a especialista y a urgencias cuando corresponde.
 - Intervenciones educativas, talleres para pacientes basados en necesidades identificadas y capacitación a profesionales sobre manejo de datos PROMs/PREMs (estrategias de educación y promoción del Portal del Paciente, aumentando su registro del 50% al 80% entre 2016 y 2022)
- Adherencia a los cuestionarios: Las métricas de respuesta mejoraron del 23,44% al 40,25% mediante recordatorios por SMS, notificaciones y llamadas telefónicas.

Con respecto al futuro del programa, cabe mencionar que la empresa planea expandirlo a nuevas condiciones (por ejemplo, cáncer de próstata, asma pediátrico). E-Res Salud demuestra cómo la integración de PROMs y PREMs en un marco digital puede hacer evolucionar la atención sanitaria hacia un modelo centrado en el paciente. Su éxito radica en la colaboración multidisciplinar, la adaptabilidad a diferentes contextos clínicos y el uso estratégico de los datos para impulsar mejoras continuas (Rodríguez et al., 2023).

3.2 Marco Ético – Legal de la implementación de la IA en salud

La implantación de herramientas de inteligencia artificial en el ámbito sanitario requiere un riguroso cumplimiento de normativas legales y principios éticos que garanticen tanto la protección de los pacientes como la validez clínica de los procesos automatizados. En este apartado se analiza el marco regulatorio y deontológico que Quirónsalud ha tenido que considerar para la implementación de sus vías clínicas automatizadas, abordando:

1. Las normativas europeas y nacionales que regulan el uso de datos sanitarios y sistemas de IA (RGPD, Ley de IA Europea, LOPDGDD).
2. Los requisitos específicos del sector sanitario español (Ley 41/2002, Ley 44/2003).
3. Los principios éticos profesionales (Código Deontológico, Declaración de la AMM).
4. Los mecanismos de seguridad y gobernanza implementados (AESIA, protocolos de anonimización).

RGPD (Reglamento UE 2016/679)

El Reglamento General de Protección de Datos (RGPD) es la norma fundamental de la UE en materia de privacidad y afecta directamente a Quirónsalud, ya que regula el tratamiento de datos personales de pacientes, incluidos datos de salud (considerados "categorías especiales" bajo el Art. 9).

Obligaciones clave para Quirónsalud:

a) Base legal para el tratamiento de datos (Art. 6 y 9)

- Consentimiento explícito:
 - Quirónsalud debe obtener un consentimiento informado, específico y revocable antes de procesar datos de salud mediante IA.
 - Ejemplo: Los pacientes deben ser informados de cómo sus datos alimentarán algoritmos de diagnóstico automatizado.

- Interés público y sanitario (Art. 9.2.h):
 - Permite el tratamiento sin consentimiento si es necesario para "garantizar altos estándares de calidad y seguridad en la atención médica", pero exige salvaguardias adicionales (anonimización, auditorías).

b) Minimización de datos (Art. 5.1.c)

- Los sistemas de IA deben acceder solo a datos estrictamente necesarios.
- Ejemplo: Si un algoritmo predice riesgo de EPOC, no debería tener acceso a historiales psiquiátricos no relacionados.

c) Derechos de los pacientes (Art. 15-22)

- Derecho a la portabilidad (Art. 20): Los pacientes pueden solicitar sus datos en formato digital para transferirlos a otro centro.
- Derecho a ser informado, necesidad de consentimiento explícito y derecho a obtener una intervención humana (Art. 22): Si una decisión clínica se basa en IA, el paciente debe estar informado de que eso es así, consentir explícitamente y tiene derecho a exigir una intervención humana.

d) Evaluación de impacto (Art. 35)

- Quirónsalud ha tenido que realizar una evaluación de impacto en protección de datos antes de implementar IA de alto riesgo (como vías clínicas automatizadas).
- Riesgos a evaluar:
 - Posibles filtraciones de datos.
 - Sesgos algorítmicos que afecten a grupos vulnerables.

e) Notificación de brechas (Art. 33-34)

- En caso de filtración de datos, Quirónsalud debe notificarlo a la Agencia Española de Protección de Datos en 72 horas y, si el riesgo es alto, a los afectados (European Union, 2016).

LOPDGDD (Ley Orgánica 3/2018)

La Ley Orgánica 3/2018, de Protección de Datos Personales y garantía de los derechos digitales (LOPDGDD) complementa y especifica el RGPD en el ámbito español, introduciendo requisitos adicionales para el tratamiento de datos sanitarios. Quirónsalud, al operar en España, debe cumplir tanto con el RGPD como con esta ley, que refuerza aspectos críticos para el sector salud.

Obligaciones clave para Quirónsalud:

a) Delegado de protección de datos (Art. 34-38)

- Designación obligatoria:
 - Quirónsalud debe nombrar un delegado de protección de datos debido al tratamiento a gran escala de datos de salud (Art. 34.1.b).
 - Funciones del delegado:
 - Supervisar el cumplimiento del RGPD y LOPDGDD
 - Actuar como punto de contacto con la Agencia Española de Protección de Datos

b) Medidas de seguridad (Art. 28-33)

- Cifrado y acceso restringido:
 - Los datos de salud deben almacenarse con cifrado avanzado (AES-256) y solo accesibles para personal autorizado (Art. 32).
- Registro de actividades de tratamiento (Art. 30):
 - Quirónsalud debe documentar todas las operaciones de IA que procesen datos personales, incluyendo:
 - Finalidad del tratamiento (ej. diagnóstico de EPOC)
 - Categorías de datos utilizados (ej. historiales médicos) (Gobierno de España, 2018)

Ley de Inteligencia Artificial (Reglamento UE 2024/1689)

El Reglamento UE 2024/1689, comúnmente conocido como la “Ley de Inteligencia Artificial (IA)” de la UE, recientemente aprobada en junio de 2024, establece el primer marco regulatorio integral para sistemas de IA en Europa. Para Quirónsalud, esta normativa es particularmente relevante porque clasifica los sistemas de IA utilizados en diagnóstico y tratamiento médico como "de alto riesgo" (Anexo III), lo que implica requisitos estrictos de transparencia, seguridad y supervisión humana.

Obligaciones clave para Quirónsalud:

a) Clasificación como sistema de alto riesgo (Art. 6 y Anexo III)

- Están sujetos a los requisitos más estrictos de la ley los sistemas de IA empleados en:
 - Diagnóstico médico automatizado (ej: análisis de imágenes radiológicas)
 - Toma de decisiones terapéuticas (ej: tratamientos sugeridos en vías clínicas)
 - Monitorización de pacientes crónicos

b) Requisitos específicos para sistemas médicos (Art. 12-17)

1. Calidad de datos y gestión de riesgos (Art. 12)

- Los conjuntos de datos de entrenamiento deben ser:
 - Representativos de la población atendida
 - Libres de sesgos discriminatorios
 - Actualizados clínicamente
- Ejemplo: Los algoritmos para EPOC deben incluir datos de diferentes grupos de edad y géneros.

2. Documentación técnica y trazabilidad (Art. 13)

- Mantener registros detallados de:
 - Metodología de desarrollo
 - Pruebas de validación clínica
 - Limitaciones conocidas

3. Transparencia e información al usuario (Art. 14)

- Los profesionales médicos deben recibir:
 - Explicaciones comprensibles del funcionamiento del sistema
 - Información sobre la tasa de precisión y márgenes de error
- Los pacientes deben ser informados cuando se utilice IA en su diagnóstico.

4. Supervisión humana (Art. 16)

- Prohibición de sistemas totalmente automatizados en decisiones críticas.
- Requisito de validación humana para:
 - Diagnósticos primarios
 - Cambios en planes de tratamiento

c) Evaluación de conformidad y Marcado CE (Art. 18-25)

- Para sistemas nuevos:
 - Requieren evaluación por organismos notificados
 - Necesitan marcado CE antes de su implementación
- Para sistemas existentes:
 - Período transitorio de 24 meses para adaptarse (Unión Europea, 2024)

Real Decreto 729/2023 (AESIA)

El Real Decreto 729/2023 establece la creación de la Agencia Española de Supervisión de la Inteligencia Artificial (AESIA), organismo clave para la aplicación de la Ley Europea de IA en España. Para Quirónsalud, esto implica:

- Un marco de supervisión específico para sistemas sanitarios de IA
- Nuevos requisitos de certificación y control continuo
- Un interlocutor regulatorio especializado

Competencias relevantes de la AESIA (Art. 4-7)

a) Supervisión de sistemas sanitarios (Art. 4.2.d)

- Evaluación previa de sistemas de IA en salud antes de su implementación
- Auditorías periódicas a algoritmos utilizados en:
 - Diagnóstico automatizado
 - Gestión de historiales clínicos
 - Predicción de riesgos

b) Registro nacional de IA (Art. 5)

- Obligación para Quirónsalud de registrar:
 - Todos los sistemas de IA utilizados
 - Finalidad y alcance de cada implementación
 - Datos de contacto del responsable

c) Investigación de incidentes (Art. 6)

- Protocolos para reportar:
 - Errores diagnósticos atribuibles a IA
 - Sesgos detectados en algoritmos
 - Brechas de seguridad (Gobierno de España, 2023).

Código Internacional de Ética Médica de la WMA para el Uso de IA

El Código Internacional de Ética Médica de la Asociación Médica Mundial (WMA) establece principios universales que deben guiar la práctica médica, incluyendo el uso de tecnologías emergentes como la IA. Para Quirónsalud, esto implica:

- Articulación ética entre innovación tecnológica y práctica clínica
- Salvaguarda de la relación médico-paciente en entornos digitales
- Responsabilidad profesional en decisiones asistidas por IA

Principios clave y su aplicación a la IA

a) Primacía del bienestar del paciente (Principio 1)

- Implementación requerida:
 - Sistemas de IA deben priorizar resultados clínicos sobre eficiencia operativa
 - Mecanismos de sobreescritura médica inmediata en recomendaciones algorítmicas
- Ejemplo práctico:
 - En vías clínicas automatizadas, alertas claras cuando la IA detecta casos atípicos que requieren revisión humana

b) Autonomía del paciente (Principio 2)

- Protocolos necesarios:
 - Consentimiento informado específico para uso de IA en diagnóstico
 - Derecho a optar por evaluación exclusivamente humana
 - Explicación comprensible de limitaciones tecnológicas
- Innovación implementada:
 - Desarrollo de formularios de consentimiento dinámicos que explican el rol de la IA en cada procedimiento

c) No maleficencia (Principio 3)

- Medidas críticas:
 - Auditorías periódicas para detectar sesgos algorítmicos
 - Sistemas de monitorización de errores diagnósticos atribuibles a IA
 - Cuarentena técnica para modelos con desempeño inferior al umbral clínico (World Medical Association, 2018).

Ley 41/2002

La Ley 41/2002 constituye el marco jurídico fundamental que regula los derechos de los pacientes en el sistema sanitario español. Para Quirónsalud, la implementación de IA en procesos clínicos debe articularse cuidadosamente con estos preceptos legales, particularmente en lo relativo a:

- Autonomía del paciente en decisiones médicas
- Derecho a la información clínica
- Consentimiento informado en entornos tecnológicos

Derechos clave del paciente y su aplicación a sistemas de IA:

a) Derecho a la información (Art. 4-6)

- Los pacientes deben ser informados no solo sobre diagnósticos y tratamientos, sino también sobre:
 - Uso de IA en su proceso asistencial
 - Grado de intervención humana en las decisiones
 - Limitaciones conocidas de los sistemas utilizados

b) Consentimiento informado (Art. 8-9)

- Adaptación tecnológica:
 - Formularios de consentimiento deben incluir explícitamente:
 - Finalidad del uso de IA
 - Alcance de la automatización
 - Opciones alternativas sin IA

c) Acceso a la Documentación Clínica (Art. 18)

- Nuevas obligaciones:
 - Los informes generados por IA deben:
 - Ser claramente identificados como tales
 - Incluir firma electrónica del profesional responsable
 - Disponer de versión comprensible para pacientes (Gobierno de España, 2002).

Ley 44/2003

La Ley 44/2003 constituye el marco legal que ordena el ejercicio de las profesiones sanitarias en España. Quirónsalud, en la implementación de IA en procesos clínicos debe garantizar el cumplimiento de los principios esenciales que esta ley establece para la práctica profesional:

- Delimitación de competencias profesionales en entornos tecnológicos
- Responsabilidad profesional en decisiones asistidas por IA
- Formación continuada en nuevas tecnologías
- Tendencia a la unificación de criterios de actuación mediante protocolos orientativos
- Deber de prestación de una atención sanitaria conforme al actual desarrollo de la ciencia

a) Ejercicio profesional (Art. 6-7)

- Principio de cualificación:
 - Los sistemas de IA deben ser utilizados exclusivamente por profesionales sanitarios cualificados en su ámbito de competencia.
 - Prohibición de delegación total de actos médicos en sistemas automatizados.

b) Responsabilidad profesional (Art. 8)

- Criterios claros:
 - La responsabilidad última recae siempre en el profesional sanitario.
 - Los sistemas de IA se consideran instrumentos de apoyo, no sustitutos.
- Protocolos establecidos:
 - Registro obligatorio de:
 - Validación humana de resultados algorítmicos
 - Motivos para desviarse de recomendaciones de IA
 - Casos de sobreescritura del sistema

c) Formación continuada (Art. 12)

- Nuevos requisitos:
 - Inclusión obligatoria de competencias digitales en:
 - Planes de formación interna
 - Programas de desarrollo profesional
 - Criterios de acreditación (Gobierno de España, 2003).

Código de Deontología Médica (2022)

El Código de Deontología Médica del Consejo General de Colegios Oficiales de Médicos establece los principios éticos que rigen la práctica médica en España. Para Quirónsalud, la implementación de IA en procesos clínicos debe alinearse con estos preceptos, que enfatizan:

- Primacía del bienestar del paciente sobre cualquier consideración tecnológica
- Responsabilidad profesional en el uso de herramientas diagnósticas
- Confidencialidad reforzada en entornos digitales

Artículos clave y su aplicación a sistemas de IA:

a) Calidad de la atención médica (Art. 5-6)

- Exigencia de validación clínica:
 - Los sistemas de IA deben demostrar eficacia comparable a métodos tradicionales antes de su implementación (Art. 5.3).
 - Ejemplo: Algoritmos de diagnóstico por imagen deben validarse contra estándares radiológicos humanos.
- Prohibición de delegación total:
 - El Art. 6.2 establece que "el médico no puede delegar en sistemas automatizados su juicio clínico final".

b) Confidencialidad y datos (Art. 26-27)

- Anonimización estricta:
 - Los datos para entrenamiento de IA deben procesarse según normativas RGPD+ (Art. 26.1).
 - Técnica aplicada: Tokenización con doble cifrado (AES-256 + homomórfico).
- Prohibición de comercialización:
 - El Art. 27.3 prohíbe explícitamente "la explotación comercial de datos clínicos", incluso anonimizados (Consejo General de Colegios Médicos, 2022).

3.3 Integración técnica de la IA

La integración de la IA en la práctica diaria de Quirónsalud tiene lugar mediante la herramienta desarrollada para la adherencia a las trayectorias asistenciales automatizadas. La herramienta se apoya en la inteligencia artificial para analizar la información relevante de la historia clínica de los pacientes para proponer la trayectoria asistencial adecuada. Para ello hace uso de la siguiente información:

- Informes médicos de consultas pasadas
- Datos tabulados sobre el perfil de paciente: edad, sexo, fumador/no fumador...
- Datos estructurados sobre el proceso asistencial del paciente: prestaciones ya realizadas (cirugías), prestaciones pendientes de realizar, inclusión en lista de espera quirúrgica...
- Otros datos tabulados recogidos en Casiopea: resultados de analíticas (colesterol con niveles de riesgo, etc)

De esta manera para cada paciente logra determinar:

- Si es paciente potencial de alta
- Si es candidato o no a una vía clínica
- Para los candidatos a vía, en qué fase ha de incluirse

3.3.1 Comunicación con motor de IA

Mediante el siguiente código desarrollado en Python se construye la comunicación con GPT4-o, el motor de IA utilizado. Este implementa un sistema para procesar informes médicos mediante la API de OpenAI (es una interfaz de programación que permite integrar modelos avanzados de inteligencia artificial y que en este caso funciona como un "asistente digital" que procesa lenguaje médico). El sistema recibe y procesa datos no estructurados que son las transcripciones de las consultas, el fichero de configuración config.json en el que se codifica la lógica del árbol de decisión de cada vía clínica y los prompt específicos (instrucciones contextuales) para la adherencia de los pacientes a cada vía.


```
# -*- coding: utf-8 -*- # Especifica la codificación UTF-8 para soportar caracteres especiales
# Copyright (c) 2025 by Boston Consulting Group. All rights reserved.
# Código facilitado por Quirónsalud, comentado a modo explicativo

# Importación de módulos estándar
import concurrent.futures # Para ejecución paralela
import logging # Sistema de logging
import random # Generación de números aleatorios
import time # Manejo de tiempos y esperas

# Importación de bibliotecas externas
import openai # API de OpenAI
import pandas as pd # Manipulación de datos en DataFrames
from pydantic import ValidationError # Validación de datos
from tqdm import tqdm # Barras de progreso

# Importación de módulos internos del proyecto
from qs_asignador import ENV_VARS, config # Variables de entorno y configuración
from qs_asignador.utils.fields import f # Campos/constantes definidos
from qs_asignador.utils.timing import timing # Decorador para medir tiempos

# Configuración del logger para este módulo
logger = logging.getLogger(__name__)

# Configuración para reducir verbosidad de logs (TODO: Revisar para cambiar a INFO)
logging.getLogger("httpx").setLevel(logging.WARNING) # Solo muestra WARNINGS para httpx
logging.getLogger("openai").setLevel(logging.WARNING) # Solo muestra WARNINGS para openai

def setup_openai():
    """Configura los parámetros de conexión con la API de OpenAI."""
    openai.api_key = ENV_VARS.api_key # Clave API desde variables de entorno
    openai.api_version = config.model.api_version # Versión de la API desde configuración
    # URL base dependiendo del entorno (dev/prod)
    openai.base_url = config.model.model_url[ENV_VARS.environment]
    openai.api_type = "azure" # Tipo de API (Azure en este caso)

def process_single_report(kwargs):
    """
    Procesa un único informe médico usando la API de OpenAI con reintentos y validación.
    Args:
        kwargs: Diccionario con:
            - id_acto: Identificador del acto médico
            - id_paciente: Identificador del paciente
            - informe: Texto del informe médico anonimizado
            - prompt: Plantilla del prompt a usar
            - validator: Validador opcional para la respuesta
    """
```

Returns:

Diccionario con los resultados del procesamiento

"""

Extracción de parámetros del diccionario de entrada

id_acto = kwargs["id_acto"]

id_paciente = kwargs["id_paciente"]

informe = kwargs["informe"]

prompt = kwargs["prompt"]

validator = kwargs.get("validator") *# Validador opcional*

Límites de reintentos desde configuración

max_val = config.model.max_retries_schema_validation *# Máx reintentos por errores de validación*

max_tpm = config.model.max_retries_tpm_rate_limit *# Máx reintentos por límite de tasa*

Inicialización de contadores y estado

attempts_schema_validation, attempts_tpm_limit = 0, 0

success = False *# Flag de éxito*

output = "{}" *# Output por defecto (JSON vacío)*

Bucle principal de reintentos

while attempts_schema_validation < max_val **and** attempts_tpm_limit < max_tpm **and not** success:

Preparación de parámetros para la API de OpenAI

api_params = {

 "model": config.model.model_type, *# Tipo de modelo desde configuración*

 "messages": [

 {

 "role": "user",

Reemplaza marcador en el prompt con el informe real

 "content": prompt.replace("<input_pres>", informe),

 }

],

 "temperature": 0, *# Para resultados deterministas*

"max_tokens": 1000, # (Opcional) Límite de tokens

}

Configuración del formato de respuesta

if validator:

 api_params["response_format"] = validator *# Validador personalizado*

else:

 api_params["response_format"] = {"type": "json_object"} *# JSON por defecto*

try:

Llamada a la API de OpenAI

completion = openai.beta.chat.completions.parse(**api_params)

output = completion.choices[0].message.content *# Extrae el contenido*

success = True *# Marca como exitoso*

```
except ValidationError as e:
    # Manejo de errores de validación
    attempts_schema_validation += 1
    if attempts_schema_validation == max_val: # Si supera el máximo
        logger.error(f"Validation failed after {max_val} attempts for idActo {id_acto}: {e}")
        output = '{"Error": "Validation error"}' # Mensaje de error
        break

except openai.LengthFinishReasonError as e:
    # Manejo de errores por exceso de longitud
    usage = getattr(e.completion, "usage", None)
    if usage: # Si hay información de tokens usados
        logger.error(
            f"LengthFinishReasonError for idActo {id_acto}, idPaciente {id_paciente} — "
            f"Tokens usados: prompt={usage.prompt_tokens}, completion={usage.completion_tokens}, "
            f"total={usage.total_tokens}"
        )
    else: # Sin información de tokens
        logger.error(
            f"LengthFinishReasonError for idActo {id_acto}, idPaciente {id_paciente} — sin info de tokens"
        )
    output = '{"Error": "LengthFinishReasonError"}' # Mensaje de error
    break

except openai.RateLimitError:
    # Manejo de límite de tasa (requests por minuto)
    attempts_tpm_limit += 1
    # Backoff exponencial con componente aleatorio (máx 30 segundos)
    wait_time = min(2**attempts_tpm_limit + random.uniform(0, 0.5), 30)
    logger.warning(f"Rate limit exceeded, retrying in {wait_time:.2f} seconds...")
    time.sleep(wait_time) # Espera antes de reintentar

# Retorna diccionario con resultados
return {
    f.act_id: id_acto, # ID del acto médico
    f.patient_id: id_paciente, # ID del paciente
    f.anonymized_report: informe, # Informe original
    "output": output, # Respuesta de la API
    "report_correctly_processed": success, # Estado del procesamiento
}
```

@timing # Decorador para medir tiempo de ejecución

```
def process_reports(df, prompt, validator=None):
```

```
    """
```

Procesa múltiples informes en paralelo usando la API de OpenAI.

Args:

df: DataFrame con los informes a procesar

prompt: Plantilla del prompt a usar

validator: Validador opcional para las respuestas

Returns:

DataFrame con los resultados del procesamiento

```
    """
```

Crea un ThreadPoolExecutor para procesamiento paralelo

```
with concurrent.futures.ThreadPoolExecutor(max_workers=config.model.max_workers) as executor:
```

Prepara lista de argumentos para cada informe

```
    args_list = [
```

```
        {
```

```
            "id_acto": id_acto,
```

```
            "id_paciente": id_paciente,
```

```
            "informe": informe,
```

```
            "prompt": prompt,
```

```
            "validator": validator,
```

```
        }
```

Itera sobre las columnas relevantes del DataFrame

```
    for id_acto, id_paciente, informe in zip(df[f.act_id], df[f.patient_id], df[f.anonymized_report])
```

```
    ]
```

Ejecuta process_single_report en paralelo para cada conjunto de argumentos

Muestra barra de progreso con tqdm

```
    results = list(tqdm(
```

```
        executor.map(process_single_report, args_list),
```

```
        total=len(df),
```

```
        desc="Procesando informes"
```

```
    ))
```

Convierte los resultados en DataFrame y lo retorna

```
    return pd.DataFrame(results)
```

(Boston Consulting Group, 2025)

Nota: Fragmento adaptado del código original proporcionado por Boston Consulting Group (2025) a través de Quirónsalud. Se han omitido partes sensibles por acuerdo de confidencialidad.

3.3.2 Ejemplo de vía clínica automatizada

El flujo de funcionamiento comienza con la extracción de datos, el sistema toma el informe médico crudo (texto libre), a continuación ejecuta los prompts correspondientes para obtener datos estructurados mediante el procesamiento con el motor de IA y posteriormente se lleva a cabo la evaluación de criterios.

El sistema usa los datos estructurados (no el informe original) para evaluar las reglas incluidas en el archivo de configuración y asigna el paciente a la vía clínica correspondiente con el código de vía y comentarios para el médico.

A continuación se adjunta el código que se incluye en el fichero de configuración (config.json) en el que se codifica la lógica del árbol de decisión de la vía clínica de EPOC.

```
{ // Estructura principal para el manejo de EPOC (Enfermedad Pulmonar Obstructiva Crónica)

  "Epoc": {

    // Lista de diagnósticos relacionados con EPOC

    "dx": ["dx no informado", "enfermedad pulmonar obstructiva crónica (epoc)", "eo_asma epoc (aco)", "eo_bronquitis cronica obstructiva (epoc)", "eo_epoc alto riesgo", "eo_epoc bajo riesgo", "epoc", "epoc agudizada", "epoc alto riesgo", "epoc con infección de las vías respiratorias inferiores", "epoc con vmni", "epoc descompensada", "epoc enfermedad pulmonar obstructiva crónica", "epoc enfermedad pulmonar obstructiva crónica agudizada", "epoc enfermedad pulmonar obstructiva crónica con infección de las vías respiratorias inferiores", "patologia neumologica - epoc", "bronquitis", "bronquitis aguda", "bronquitis/bronquiolitis aguda", "bronquitis cronica", "bronquitis crónica", "eo_bronquitis aguda", "eo_bronquitis cronica simple", "eo_bronquitis eosinofílica"],

    "criteria": [

      // Criterios clínicos para determinar la vía asistencial

      {

        // Criterio 1: Paciente sin EPOC
        "conditions": [["EPOC", "==", "No"]], // Condición lógica
        "via": null, // No aplica vía clínica
        "codigovia": null, // Sin código asociado
        "comment": "No tiene EPOC. No aplica", // Explicación clínica
        "alta": false, // No es criterio de alta
        "fasevia": null // Sin fase específica
      },
```

```
{
// Criterio 2: Alta médica
  "conditions": [["Alta", "=", "Si"]],
  "via": null,
  "codigovia": null,
  "comment": "El médico especifica alta",
  "alta": true, // Marca como situación de alta
  "fasevia": null
},

{
// Criterio 3: EPOC avanzado en estudio para trasplante
  "conditions": [["EPOC avanzado estudio pretrasplante", "=", "Si"]],
  "via": "Neumología. EPOC avanzado estudio pretrasplante", // Vía asignada
  "codigovia": "CODIGO_NO_DEFINIDO_EPOC", // Código pendiente de definir
  "comment": null,
  "alta": false,
  "fasevia": null
},

{
// Criterio 4: Necesidad de ventilación mecánica
  "conditions": [["VMNI", "=", "Si"]], // VMNI = Ventilación Mecánica No Invasiva
  "via": "Neumología. EPOC con ventilación mecánica no invasiva",
  "codigovia": "CODIGO_NO_DEFINIDO_EPOC",
  "comment": null,
  "alta": false,
  "fasevia": null
},

{
// Criterio 5: Tratamiento sintomático avanzado
  "conditions": [["EPOC avanzado tratamiento sintomatico", "=", "Si"]],
  "via": "Neumología. EPOC avanzado tratamiento sintomático",
  "codigovia": "CODIGO_NO_DEFINIDO_EPOC",
  "comment": null,
  "alta": false,
  "fasevia": null
},
```

```
{
// Criterio 6: Agudizaciones frecuentes
  "conditions": [["+2 agudizaciones", "==", "Si"]], // 2+ exacerbaciones/año
  "via": "Neumología. EPOC agudizador o morbilidad no controlada",
  "codigovia": "CODIGO_NO_DEFINIDO_EPOC",
  "comment": null,
  "alta": false,
  "fasevia": null
},

{
// Criterio 7: Hospitalización reciente
  "conditions": [["Ingreso hospitalario", "==", "Si"]],
  "via": "Neumología. EPOC agudizador o morbilidad no controlada",
  "codigovia": "CODIGO_NO_DEFINIDO_EPOC",
  "comment": null,
  "alta": false,
  "fasevia": null
},

{
// Criterio 8: Morbilidad no controlada
  "conditions": [["Morbilidad no controlada", "==", "Si"]],
  "via": "Neumología. EPOC agudizador o morbilidad no controlada",
  "codigovia": "CODIGO_NO_DEFINIDO_EPOC",
  "comment": null,
  "alta": false,
  "fasevia": null
},

{
// Criterio 9: Función pulmonar severamente reducida (FEV1 < 50%)
  "conditions": [["FEV1", "==", "FEV1 < 50%"]], // FEV1: Volumen Espiratorio Forzado en 1 seg.
  "via": "Neumología. EPOC FEV1 < 50%, no agudizador ni morbilidad activa",
  "codigovia": "CODIGO_NO_DEFINIDO_EPOC",
  "comment": null,
  "alta": false,
  "fasevia": null
},
```

```
{
// Criterio 10: Función pulmonar moderada (FEV1 ≥ 50%)
  "conditions": [{"FEV1", "=", "FEV1 >= 50%"}],
  "via": "Neumología. EPOC FEV1 >= 50%, no agudizador ni morbilidad activa",
  "codigovia": "CODIGO_NO_DEFINIDO_EPOC",
  "comment": null,
  "alta": false,
  "fasevia": null
},

{
// Criterio 11: Diagnóstico reciente
  "conditions": [{"Dx reciente", "=", "Si"}], // Dx = Diagnóstico
  "via": "Neumología. EPOC con diagnóstico reciente",
  "codigovia": "CODIGO_NO_DEFINIDO_EPOC",
  "comment": null,
  "alta": false,
  "fasevia": null
},

{
// Criterio 12: FEV1 no determinado
  "conditions": [{"FEV1", "=", "No determinado"}],
  "via": "Neumología. EPOC FEV1 >= 50%, no agudizador ni morbilidad activa",
  "codigovia": "CODIGO_NO_DEFINIDO_EPOC",
  "comment": "No se ha encontrado información del FEV1", // Justificación
  "alta": false,
  "fasevia": null
}
],

"prompts": ["prompt_epoc"], // Plantillas de preguntas

// Identificadores de servicios clínicos
  "idservicio": [
    "a9969fcd-0730-cfb6-1f3d-08cff368665c",
    "8df49c4b-95b2-402a-82c0-b40edbb9bd6d"
  ],
  "orchestrator": "dx"
}
}
```

(Boston Consulting Group, 2025)

Una vez asignado, el médico dispondrá del protocolo a seguir basado en el consenso clínico de los especialistas, contando con sugerencias de tratamiento farmacológico y no farmacológico, las peticiones de pruebas necesarias automatizadas y un plan de citas y seguimiento.

3.3.3 Aspectos de privacidad

Protección de datos sensibles en aplicaciones de IA para diagnóstico:

1. Fundamentos

Como se ha explicado en el Marco Ético – Legal de la implementación de la IA en salud, los datos clínicos, por su naturaleza sensible, están sujetos a una estricta regulación en materia de protección de datos. A nivel europeo, el Reglamento General de Protección de Datos (RGPD) establece requisitos como la minimización de datos (art. 5.1.c), la limitación de su finalidad (art. 5.1.b) y la implementación de medidas técnicas y organizativas adecuadas (art. 32) (European Union, 2016). En España, esta normativa se complementa con la Ley Orgánica 3/2018, de Protección de Datos Personales y garantía de los derechos digitales (LOPDGDD), que desarrolla y adapta el RGPD al ordenamiento jurídico español, con disposiciones específicas para datos de salud (art. 9) (Gobierno de España, 2018). En Estados Unidos, la regulación aplicable es la Health Insurance Portability and Accountability Act (HIPAA, 1996), que establece salvaguardas para la protección de información médica (U.S. Department of Health & Human Services, 1996).

Estas normativas exigen garantizar la confidencialidad, integridad y disponibilidad de los datos (RGPD, art. 5.1.f), y además condicionan el diseño técnico de las aplicaciones que los procesan. Esto resulta especialmente relevante en sistemas de inteligencia artificial (IA) aplicados al diagnóstico médico, donde el cumplimiento de estos requisitos es ineludible.

Un aspecto crítico en el desarrollo de IA es la fase de entrenamiento, dado que requiere el manejo de grandes volúmenes de datos sensibles. Esto obliga a implementar procesos sistematizados de anonimización o seudonimización (RGPD, art. 4.5) para garantizar la protección de la información desde su entrada al sistema.

Además del marco legal, puede considerarse una perspectiva ética, ya que el tratamiento de datos sensibles no solo implica el cumplimiento normativo, sino también la reputación de la solución desarrollada. La transparencia (RGPD, art. 12-14) y solidez del modelo pueden ser factores determinantes para generar confianza entre los usuarios, ya sean pacientes, profesionales sanitarios o instituciones.

2. Pseudoanonimización de datos

La implementación de técnicas de pseudoanonimización requiere un enfoque adaptado a las características específicas de cada propuesta. Entre las soluciones disponibles, destaca la pseudoanonimización avanzada como método con un adecuado equilibrio entre seguridad y funcionalidad y por ello fue el elegido por la empresa. Este proceso consiste en la eliminación de datos personales directos (como nombres, números de historia clínica, DNIs o tarjetas sanitarias) y su sustitución por tokens aleatorios, manteniendo la posibilidad de reversibilidad cuando sea necesario.

El proceso de pseudoanonimización comprende tres etapas fundamentales:

4. Identificación de campos sensibles:

- En datos estructurados, este proceso resulta sencillo al trabajar con campos definidos (nombres, direcciones, fechas de nacimiento, etc.)
- Para datos no estructurados, se emplean diversas estrategias:
 - Patrones regulares para identificadores (DNIs, números de teléfono, emails).
 - Búsqueda de palabras clave (nombres y apellidos).
 - Modelos de Procesamiento de Lenguaje Natural entrenados específicamente para datos clínicos.
 - En el caso de imágenes médicas (que pueden tener datos en la propia imagen), técnicas de reconocimiento de texto en imagen mediante IA.

5. Sustitución de datos:

- Cada campo requiere un tratamiento específico, pudiendo conservarse cierta información (como la comunidad autónoma o la edad) mientras se eliminan datos más sensibles (como la dirección)
- La reversibilidad se garantiza (por eso es pseudoanonimización) mediante:
 - Generación de tokens únicos (se sustituye cada indicador por un token generado automáticamente)
 - Almacenamiento seguro de la correspondencia token-dato original (se registra la correspondencia del token con la cadena en una tabla)
- Aspectos críticos a considerar:
 - Nivel de complejidad del token: desde identificadores simples hasta *hashes criptográficos* (función matemática que transforma un conjunto de datos como un texto, un archivo o cualquier entrada binaria en una cadena de caracteres de longitud fija, denominada valor hash). La complejidad del token depende del grado de protección que se quiera dar.
 - Protección estricta de la tabla de correspondencia (cifrado avanzado, control de accesos). La tabla de correspondencia token – dato real, no debe salir del entorno del anonimizador (la salida de este elemento tiene que ser totalmente anónima).
 - Localización aislada del componente de pseudoanonimización: sobre dicha tabla, que es muy sensible, pueden aplicarse muchas técnicas de seguridad diferentes (tabla cifrada con nivel de protección alto como cifrado AES-256, sistemas de registro de acceso a la tabla, etc.)

6. Generación de salida anonimizada:

Generar la salida como un documento totalmente anonimizado a los algoritmos de IA diagnóstica:

- Producción de documentos aptos para su procesamiento por sistemas de IA diagnóstica
- Aislamiento completo de los datos originales y su correspondencia

La estructura de negocio y especialmente los datos de correspondencia deben de estar aislados en el dominio del anonimizador y no permitir acceso de ningún otro elemento del ecosistema (por ejemplo, solo comunicación mediante APIs). Todo esto, teniendo en cuenta que trabaja la pseudoanonimización. De no ser necesaria la reversibilidad, podría hacerse una anonimización completa (en vez de un hash utilizar cadenas aleatorias), que es más seguro, pero con el hándicap de la dificultad de asociar elementos de la entrada.

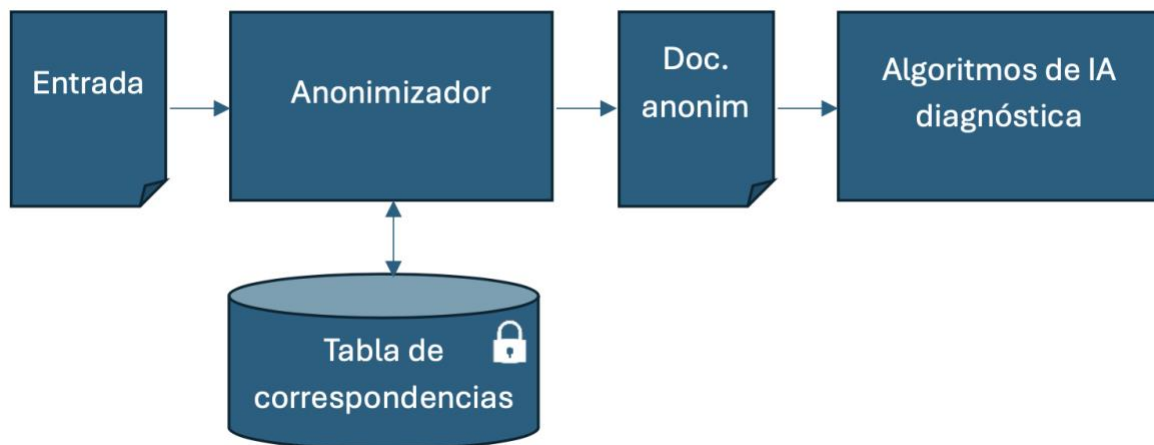


Figura 22. Diagrama de flujo del proceso de pseudoanonimización. Fuente: Quirónsalud equipo técnico.

La pseudoanonimización presenta ventajas significativas:

1. Protección de datos personales mediante minimización de información sensible (no los transmite al sistema de diagnóstico que, realmente, no los requiere para su proceso).
2. Conservación de toda la información clínica relevante para el diagnóstico (importante dado que en el reconocimiento de patrones es preferible disponer de toda la información posible).
3. Posibilidad de trazabilidad controlada cuando sea necesaria.
4. Cumplimiento normativo (RGPD) cuando se implementa correctamente.
5. Concentración del riesgo en un componente altamente controlable, la tabla de correspondencias, lo que reduce mucho el riesgo de fuga de datos.

No obstante, este enfoque presenta ciertas limitaciones:

1. Riesgo potencial de reidentificación si se accede tanto a los datos anonimizados como a la tabla de correspondencia.
2. Necesidad de mantener controles estrictos al no tratarse de una anonimización completa.
3. Incremento en la complejidad técnica y costes computacionales en tiempo.
4. Posibilidad de que algún dato sensible permanezca sin detectar, especialmente considerando que hay muchos datos no estructurados (notas, informes de texto plano, imágenes radiográficas, etc).

3. Otras técnicas de protección de datos

En el desarrollo de sistemas de IA para diagnóstico médico, además de la pseudoanonimización, pueden implementarse otras medidas técnicas para garantizar la protección de datos y así lo hace Quirónsalud:

Minimización de datos:

Esta técnica, alineada con el principio de "privacy by design", consiste en limitar el tratamiento de datos a lo estrictamente necesario. A nivel técnico se implementa mediante:

- Definición precisa de los objetos de intercambio en las APIs, especificando únicamente los campos de datos requeridos.
- Sistemas de filtrado previo que descarten automáticamente información irrelevante para el análisis específico (por ejemplo, excluyendo estudios de imagen no relacionados con la patología objeto de estudio).

Cifrado de datos:

La protección mediante cifrado se aplica en todos los niveles del sistema:

- Comunicaciones entre componentes mediante protocolos como TLS 1.3.
- Almacenamiento de datos en reposo utilizando algoritmos como AES-GCM.
- Implementación de mecanismos de autenticación robustos (OAuth, JWT) para las interacciones entre sistemas.
- Gestión centralizada de claves mediante sistemas especializados (KMS).

Control de accesos y autenticación

El sistema puede incorporar:

- Modelo de roles y permisos estrictamente definido, aplicando el principio de mínimo privilegio para limitar a lo imprescindible.
- Mecanismos de autenticación reforzada, particularmente para accesos a componentes críticos. Implementación de autenticación multifactor en los puntos de acceso más sensibles.

Registro de actividad

Es fundamental mantener un sistema de logging que:

- Registre todos los accesos a información personal.
- Documente las acciones realizadas por los usuarios, incluyendo potencialmente las consultas específicas.
- Garantice la integridad de los registros mediante técnicas criptográficas que prevengan su modificación.

Estas medidas complementarias, implementadas de forma conjunta, contribuyen a crear un entorno seguro para el procesamiento de datos clínicos, cumpliendo con los principios de protección de datos y reduciendo los riesgos asociados al tratamiento de información sensible (Quirónsalud, Dirección Técnica).

4. Capítulo IV: Contribución propia al sistema de Quirónsalud

En colaboración con Quirónsalud se ha continuado desarrollando el sistema basado en inteligencia artificial mediante el diseño de un prompt para mejorar la adherencia a la vía clínica de EPOC mediante el procesamiento automatizado de informes médicos.

Se desarrolló un prompt para ser procesado con GPT4-o, encargado de optimizar el análisis de informes clínicos en formato de texto libre, para la extracción de información estructurada que permita la clasificación de pacientes con EPOC en las vías clínicas automatizadas. El prompt desarrollado es el siguiente:

Eres un especialista en analizar historias clínicas o informes médicos de pacientes de un hospital.

Tu tarea consiste en analizar informes médicos en formato HTML y devolver un JSON estructurado que permita evaluar si los pacientes son candidatos a vías clínicas relacionadas con EPOC.

1. Diagnostico EPOC según evolutivo ("EPOC segun evolutivo"):

ACCION: Para esta sección analiza ****exclusivamente**** el contenido de la evolución clínica, es decir, el texto que aparece después de los encabezados *****CONSULTA ACTUAL*****, *****EVOLUCIÓN*****, *****exploración física*****, *****EVOLUTIVO*****, *****HISTORIA DE LA ESPECIALIDAD***** o equivalentes dentro de la última consulta registrada. ****No está permitido,**** bajo ningún concepto, usar información de otras secciones estructuradas como **"MOTIVO DE CONSULTA"** o **"DIAGNÓSTICO"**, ni hacer inferencias basadas en ellas.

- Devuelve **"Si"** si:

- A partir del texto clínico de la última consulta, se puede inferir que el paciente presenta EPOC (se mencionan términos como **"EPOC"**, **"enfermedad pulmonar obstructiva crónica"** o **"bronquitis crónica obstructiva"**).

- Devuelve **"No"** si:

- El paciente no tiene un diagnóstico de EPOC.
- Se mencionan síntomas respiratorios que podrían ser compatibles con EPOC, pero se describe otra enfermedad respiratoria (como asma, bronquitis no obstructiva, infecciones respiratorias, etc.) y no se menciona específicamente el diagnóstico de EPOC ni hay indicios directos de que estos síntomas se relacionen con EPOC.

- Devuelve **"Incompleto"** si:

- El texto de evolución está ****vacío**** o el texto de evolución ****existe pero no describe síntomas, diagnósticos o información clínica clara**** que permita ****confirmar o descartar diagnósticos.****

2. Diagnostico EPOC según el DX estructurado ("EPOC segun dx estructurado")

- Devuelve "Si" si:

- A partir de la sección estructurada "DIAGNÓSTICO" se puede inferir que el paciente presenta EPOC.

- Devuelve "No" si:

- A partir de la sección estructurada "DIAGNÓSTICO" se puede inferir que el paciente ****no**** tiene un diagnóstico de EPOC.

3. EPOC:

- Devuelve "Si" si se cumple alguna de estas condiciones:

- El campo "EPOC segun evolutivo" es igual a "Si"

- El campo "EPOC segun evolutivo" es igual a "Incompleto" AND el campo "EPOC segun dx estructurado" es igual a "Si"

- Devuelve "No" en caso contrario.

ACCION: Solo evalúa el resto de campos si el campo "EPOC" es igual a "Si"

4. Alta

- Devuelve "Si" si se cumple alguna de estas condiciones:

- En el informe se indica el alta y ****NO**** se solicitan más pruebas adicionales.

- En el informe se indica el alta y el médico indica ****"Revisión a demanda".****

- El informe indica que el seguimiento del paciente ha sido derivado a ****atención primaria (MAP)**** y no se han solicitado revisiones ni pruebas adicionales.

- Devuelve "No" en caso contrario:

- No se indica alta

- Se indica el alta del paciente, pero quedan ****pruebas pendientes por realizar o revisar****.

- Se programa revisión del paciente (por ejemplo: "revisión no presencial o RNP en 4-5 meses", "cita en un plazo de 6 meses", o "revisión en junio").

ACCION: Solo evalúa el resto de campos si el resultado del campo ****Alta**** es "No"

5. EPOC avanzado estudio pretrasplante:

ACCIÓN: Analiza el contenido de la ****sección de evolución clínica de la última consulta registrada.****

- Devuelve "Si" si:

- Se puede observar que el paciente está siendo evaluado en el contexto de un ****estudio, valoración o gestión activa para un trasplante pulmonar****

- Indicadores de que el paciente está en estudio o valoración para trasplante pulmonar incluyen menciones explícitas o implícitas como:

* "valoración para trasplante pulmonar"

* "se canaliza para trasplante"

* "solicitud de trasplante pulmonar"

* "paciente en lista de espera para trasplante"

* o cualquier otra formulación que indique que el EPOC está en fase avanzada y se está ****considerando o gestionando un posible trasplante de pulmón****

- Devuelve "No" si se cumple ****al menos una**** de estas condiciones:

- ****No**** hay evidencia en la ****sección de evolución clínica de la última consulta registrada****, de que el paciente esté siendo evaluado para trasplante pulmonar

- El paciente sí fue considerado ****previamente para trasplante****, pero el trasplante fue ****desestimado o descartado**** (por ejemplo, por contraindicación, decisión médica o del propio paciente)

ACCION: Solo evalúa el resto de campos si el campo "EPOC avanzado estudio pretrasplante" es igual a "No"

6. Ventilación mecánica no invasiva ("VMNI"):

ACCIÓN: Analiza el contenido de la ****sección de evolución clínica de la última consulta registrada.****

- Devuelve "Si" si:

- A partir del contenido de la ****sección de evolución clínica de la última consulta registrada****, se puede inferir que el paciente está en tratamiento con ****ventilación mecánica no invasiva (VMNI)**** o se ha indicado su inicio.

- Indicadores frecuentes incluyen frases como:

* "Ventilación no invasiva"

* "BiPAP"

* "Soporte ventilatorio no invasivo"

- Devuelve "No" si:

- A partir del contenido de la ****sección de evolución clínica de la última consulta registrada o consultas anteriores del mismo informe****, ****no hay mención de que el paciente esté en tratamiento con VMNI o****

- Se menciona que ya ****no la necesita o que ha sido retirada****

ACCION: Solo evalúa el resto de campos si el campo "VMNI" es "No"

7. EPOC avanzado tratamiento sintomatico:

ACCIÓN: Analiza el contenido de la **sección de evolución clínica de la última consulta registrada.**

- Devuelve "Si" si:

- El paciente se encuentra en una **fase paliativa de la enfermedad EPOC**, es decir, está recibiendo **únicamente tratamiento sintomático**

- Indicadores de esta situación incluyen menciones como:

* "manejo paliativo"

* "control de síntomas"

* "soporte hospitalario"

* "derivado a ESAD" (Equipo de Soporte de Atención Domiciliaria)

* o cualquier otra expresión que refleje una orientación centrada exclusivamente en el alivio de síntomas y calidad de vida, **sin tratamiento activo de la enfermedad**.

- Devuelve "No" si:

- No hay evidencia de que el paciente esté en una fase paliativa.

- El manejo incluye **medidas activas o tratamientos dirigidos a modificar el curso del EPOC** (por ejemplo, broncodilatadores, rehabilitación respiratoria, oxigenoterapia prolongada, etc.) sin mención de un enfoque paliativo.

ACCION: Solo evalúa el resto de campos si el campo "EPOC avanzado tratamiento sintomatico" es igual a "No"

8. Paciente con más de 2 agudizaciones ("2 agudizaciones")

ACCION: Los informes pueden contener varias consultas médicas. **Para esta sección de paciente agudizador**, debes analizar **únicamente** la información contenida en las consultas cuya fecha esté dentro del **año previo a la última consulta registrada (inclusive).**

- Devuelve "Si" si:

- El paciente ha tenido al menos 2 agudizaciones por exacerbación de EPOC en el último año.

- Las agudizaciones pueden identificarse mediante descripciones como:

* "infección respiratoria" que motiva visita a atención primaria o urgencias

* "empeoramiento de EPOC" tratado ambulatoriamente

* prescripción de corticoides orales y/o antibióticos en contexto de empeoramiento respiratorio

* consultas por "episodios de disnea", "tos aumentada" o "esputo purulento" atribuidos a EPOC

* menciones de visitas al médico de cabecera, urgencias o centros de salud por motivos respiratorios relacionados con EPOC

- Devuelve "No" si:

- **No** se identifican al menos 2 agudizaciones ambulatorias por EPOC en el último año

- Las visitas respiratorias están relacionadas con otras patologías no atribuibles claramente a una exacerbación de EPOC

9. Paciente con ingreso hospitalario ("[Ingreso hospitalario](#)")

ACCION: Los informes pueden contener varias consultas médicas. ****Para esta sección**, debes analizar ****únicamente**** la información contenida en las consultas cuya fecha esté dentro del ****año** previo a la última consulta registrada (inclusive).**

- Devuelve "**Si**" si:

- El paciente ha tenido al menos **** 1 ingreso hospitalario por exacerbación de EPOC en el último año****.
- Este ingreso estará indicado mediante términos como:

- * "ingreso hospitalario"

- * "hospitalización"

- * "ingresado por EPOC" o "ingresado por exacerbación"

- * menciones equivalentes que reflejen una estancia hospitalaria (no ambulatoria) motivada por una exacerbación respiratoria atribuida a EPOC.

- Devuelve "**No**" si:

- ****No**** se menciona ningún ingreso hospitalario por EPOC en el último año.

- Las visitas respiratorias están ****relacionadas con otras patologías no atribuibles claramente a una exacerbación de EPOC****

10. Paciente con morbilidad no controlada ("[Morbilidad no controlada](#)")

ACCIÓN: Analiza el contenido de la ****sección de evolución clínica de la última consulta registrada.****

- Devuelve "**Si**" si:

- Se identifica alguna de las siguientes condiciones activas o no controladas, que pueden influir negativamente en la evolución del EPOC:

- * ****Infección respiratoria activa o colonización por gérmenes**** (como pseudomonas u otros): se considera ante la presencia de términos como "[infección respiratoria](#)", "[colonización crónica](#)", "[infección bronquial crónica](#)", "[aislamiento microbiológico en esputo](#)" o "[aislamiento en broncoaspirado](#)".

- * ****Síndrome de Apnea-Hipopnea del Sueño (SAHS)****: solo se considera si se documenta un ****diagnóstico reciente de apnea del sueño y aún no se ha establecido la tolerancia al tratamiento con CPAP****, o si se indica que el paciente ****no tolera o ha abandonado el uso de CPAP.****

- * ****Neoplasia pulmonar activa o en estudio****: se considera si hay diagnóstico confirmado o sospecha de cáncer pulmonar, mención de un "nódulo" o "masa" pulmonar en estudio, o aparición de términos como "[adenocarcinoma pulmonar](#)", "[carcinoma pulmonar](#)", "[carcinoma escamoso](#)", "[carcinoma adenoescamoso](#)", "[tumor pulmonar](#)", "[cáncer traqueal](#)" o "[bronquial](#)".

- Devuelve "**No**" si:

- En la sección de evolución clínica ****NO**** hay evidencia de ninguna de las siguientes condiciones activas o no controladas:

- * No hay indicios de ****infección respiratoria activa**** ni de ****colonización por gérmenes****.

* No se menciona un **diagnóstico reciente de SAHS sin información sobre tolerancia al CPAP, ni que el paciente no tolere o haya abandonado el CPAP**.

* No se evidencia **neoplasia pulmonar activa o en estudio**, es decir, no hay diagnóstico ni sospecha de cáncer pulmonar, ni mención de masas, nódulos o términos relacionados.

ACCION: Solo evalúa el resto de campos si el campo "Morbilidad no controlada" es igual a "No"

11. FEV1

ACCIÓN: Analiza el contenido de la **sección de evolución clínica de la última consulta registrada**.

- Devuelve "FEV1 < 50%" si:

- El paciente presenta un **FEV1 menor al 50%** en el último valor registrado.

- Devuelve "FEV1 >= 50%" si:

- El paciente presenta un **FEV1 mayor o igual al 50%** en el último valor registrado.

- Devuelve "No determinado" si:

- No hay unos valores de FEV1 válidos en la última consulta registrada (por ejemplo, porque no se realizó espirometría o los valores están ausentes).

12. Diagnóstico reciente de EPOC ("Dx reciente"):

- Devuelve "Si" si:

- En la **sección de evolución clínica de la última consulta registrada en neumología**, se menciona por **primera vez el diagnóstico de EPOC, o bien la primera espirometría** compatible con EPOC, **y**

- En las **consultas anteriores** no se encuentra **ninguna mención de diagnóstico de EPOC** (es decir, no se trata de un caso previamente diagnosticado), **ni registros de espirometría** compatibles.

- Incluso si el paciente fue derivado desde Atención Primaria (MAP), ya que en ese caso también se considera como primera valoración diagnóstica en Neumología

- Devuelve "No" si:

- A partir del contenido de la **sección de evolución clínica de la última consulta registrada o consultas anteriores del mismo informe**, se puede inferir que el paciente **ya había sido diagnosticado previamente de EPOC** (se menciona como antecedente conocido o seguimiento), aunque se ajuste o modifique el tratamiento actual.

Ejemplos de funcionamiento del sistema utilizando el prompt:

input: 'MÉDICO RESPONSABLE: <ES_PERSON> SERVICIO RESPONSABLE: NEUMOLOGÍA - CONSULTA MONOGRÁFICA DE EPOC Ex-Fumador de 20 cig/día, lo dejo en 2010. IPA 40 p/a EPOC con obstrucción leve, dx en HU Gregorio Marañón: - Espirometría 2015: FVC 3510 (101%); FEV1 2200 (82%); FEV1/FVC 62,64% TBD (-) Pocas infecciones respiratorias anuales. No neumonías o pleuropatías. Nunca ingresos hospitalarios por causa respiratoria. No Asma en la infancia. NO cumple criterios de bronquitis crónica. GFB: IBVD. Vida activa. Disnea de esfuerzos grandes mMRC 1. ENFERMEDAD ACTUAL 25/04/2025 Rodriguez Guzmán EPOC, última cita el 23.02.2024 donde le cambio medicación a triple terapia, sin revisiones en esta consulta desde entonces. Seguimiento previo H Marañón por su EPOC; perdió seguimiento tras la pandemia. Ha estado bien, pero en los últimos meses ha notado mas disnea por lo que ha consultado con su MAP. Le han pautado Atrovent. Nota disnea de esfuerzos al andar de prisa, tolera bien escaleras. No relaciona la disnea a horarios. No tos o expectoración. Dolor torácico con los esfuerzos, mejora con reposo. Agudización ambulatoria tratada por su MAP con Prednisona x 5 días. No otras agudizaciones, no ingresos. Usa Elebrato a diario. No fuma. EXPLORACIÓN FÍSICA Peso: 60. Talla: 160. IMC: 23.44. Consciente y orientado. Eupneico Saturación de oxígeno basal (por pulsioximetria): 96% Frecuencia cardíaca: 78 lpm eupneico. No acropaquías. Auscultación cardíaca: Ruidos cardíacos regulares, no ausculto soplos. Auscultación pulmonar: Murmullo vesicular disminución moderada, sin ruidos sobreañadidos. No ausculto crepitantes ni sibilancias espiratorias. CUESTIONARIOS Disnea (Escala modificada MRC) Interpretación: 1 Exacerbaciones / Agudizaciones Leves - Moderadas (Sin ingreso en 12 meses): 1 Graves (Ingresos hospitalarios en 12 meses): 0 PRUEBAS COMPLEMENTARIAS Pruebas de Imagen Radiografía de tórax: * Febrero/2024: Proyección postero-anterior y lateral. Índice cardiotorácico conservado. Aorta y mediastino con contornos normales. Senos costo-frénicos libres. No alteraciones de la trama bronco-vascular, sin infiltrados parenquimatosos o lesiones nodulares. PRUEBAS FUNCIONALES RESPIRATORIAS: HU Gregorio Marañón: * Espirometría 2015: FVC 3510 (101%); FEV1 2200 (82%); FEV1/FVC 62,64% TBD (-) * Febrero/2024: Espirometría basal FVC 2.75 (83%) FEV1 1.46 (58%) IT 53%; Post BD FVC 3.17 (96%) FEV1 2.03 (81%) IT 64%. Prueba BD positiva FEV1 +39%, 570 ml. * Noviembre/2024: Espirometría con tratamiento: FVCBD: 3.43 (107%). - FEV1 BD: 2.16 (89%). - FEV1/FVC % BD: 63. Prueba difusión CO. DLCO 83%, DLCOc 83%, TLC (SB) 87% DIAGNÓSTICOS Enfermedad pulmonar obstructiva crónica (epoc), con obstrucción moderada que pasa a leve con test BC muy positivo. Actualmente con obstrucción leve con tratamiento. Ex-fumador. PLAN / EVOLUCIÓN Continuar con ELEBRATO Solicito revisión en 12 meses, con espirometría. TRATAMIENTO Y RECOMENDACIONES ELEBRATO ELLIPTA (Furoato fluticasona/Vilanterol/Umeclidinio: 1 inhalación cada 24 horas enjuagándose la boca posteriormente. SALBUTAMOL (VENTOLÍN): 2 inhalaciones, sólo si precisa por tos, pitos o fatiga sin superar las 4 veces/día. Aconsejamos llevar siempre consigo. * Evitar contacto con agentes irritantes (humo de tabaco, lejía, disolventes...) * Recuerde usar sus inhaladores a diario y llevar siempre su medicación de rescate. * Es recomendable que controle su peso. Un peso excesivo o demasiado bajo son perjudiciales para su salud. * Realice una actividad física regular y sin sobreesfuerzos (evite el sedentarismo). Se recomienda un mínimo de 30 minutos de ejercicio por día, que pueden hacerse de manera fraccionada. * Contraindicado el uso de betabloqueantes no cardiosselectivos. * Vacunación antigripal anual, (cada otoño) siguiendo la pauta de vacunación que efectúe su área sanitaria. * Vacunación sistemática antineumocócica (Prevenar 13), dosis única Fecha: 25/04/2025 10:40 Fdo: <ES_PERSON> N° Colegiado: <ES_DOCTOR_ID>.'

output: {"EPOC segun evolutivo": "Si", "EPOC segun dx estructurado": "Si", "EPOC": "Si", "EPOC avanzado estudio pretrasplante": "No", "VMNI": "No", "EPOC avanzado tratamiento sintomatico": "No", "+2

agudizaciones": "No", "Ingreso hospitalario": "No", "Morbilidad no controlada": "No", "FEV1": "FEV1 >= 50%",
"Dx reciente": "No"}

input: 'MÉDICO RESPONSABLE: <ES_PERSON> SERVICIO RESPONSABLE: NEUMOLOGÍA - C
MOTIVO DE CONSULTA Otros. UCCRA CONSULTA MONOGRÁFICA DE EPOC Valoración por UCCRA
18/6/2024 >> Formularios Tabaco: Exfumadora de 2 paquetes/día hasta 2004. IPA 80 Alcohol: 3-5 veces por
semana N° SAEPOC ambulatorias: 2 N° SAEPOC ingresos: 0 Estado civil: divorciada Actividad física en tiempo
de ocio: previamente 30-60 min. Actualmente sedentaria Alteraciones de la caja torácica: no ERGE: si
Dispositivos en domicilio: <ES_ADDRESS> Talla/ peso actual/IMC: 147/49.5/22.9 IBC: no Aislamiento
microorganismos: no Bronquiectasias: no Asma: no ETT último/PSAP>20: 2021: no Fenotipo: enfisema AP
Cáncer de pulmón: no Últimas PFR disponibles: FEV1 34% AAT: 150 Vit D: 27.5 en tto con colecalciferol Última
GAB: 05/24 no hipercapnia, hco3 normal. FRAIL +4 RHB: solicito TM6M y reentrenamiento. AP psiquiátrico: trastorno
adaptativo, estuvo en grupos de relajación. Disnea basal: 3-4 Disnea al ingreso: 4 > SB: Vive sola en domicilio,
1º piso con ascensor. Sin deterioro cognitivo. IABVD. 2 hijos, buen apoyo. No tos, no expectoración habitual.
Disnea basal 3-4mMRC.ENFERMEDAD ACTUAL 18/6/24 UCCRA. Revisión al alta presencial Refiere no
recuperación de situación basal tras ingreso. Reducción importante de salidas de domicilio, previamente todos los
días 30-60min. En ocasiones ataques de ansiedad y pánico, comenta múltiples miedos (quedarse sin O2, que le
fallen las piernas, no llegar...). Pendiente de iniciar seguimiento por Psicología privada. Disnea 3-4 mMRC, disnea
con las comidas y en ocasiones con en el aseo. No cumple criterios de bronquitis crónica. Ha perdido 2 kg durante
el ingreso, peso actual 49.5, IMC 22.9. Buen apetito. Buena adherencia a tto inhalado, está empezando a usar más
medicación de rescate. OCD portátil y estacionario mínimo 16h. Sigue sin fumar desde aprox 2004. Vacunación:
gripe, neumococo, covid, pendiente de herpes zóster.16/7/2024 UCCRA. Telefónica. SAEPOC atendida por MAP
el 24/06/2024 con CES. Recuperación situación basal. Ha iniciado tto sintomático con rescates de oramorph, antes
del aseo y de la ducha. No efectos adversos. Recomendando precaución con la conducción, se desaconseja. Buena
adherencia a O2 estacionaria a 2.5lpm y portátil 3 pulsos, sat en torno 95-97%. Vida activa fuera de domicilio.
Valorada hoy por RHB pulmonar para iniciar en septiembre reentrenamiento. 20/2/2025 Valorada en HDD por
SAEPOC de perfil infeccioso. 23/4/2025 UCCRA. Telefónica. EPOC con obstrucción grave en tto con OCD 1lpm
y portátil a 3 pulsos, TT, roflumilast, macrólido interdiario. No tos, no expectora, no ruidos respiratorios. Disnea
3-4 mMRC, disnea con las comidas y en ocasiones con en el aseo. Sale de casa, vida activa. últimamente mal
tiempo, ha salido poco. Hace los ejercicios de fisioterapia respiratoria todos los días. --> Valorada por RHB en
marzo/25: La paciente y yo consensuamos no más tratamiento, el esfuerzo en acudir al hospital que llega ya con
mucha disnea y luego el tiempo de vuelta a domicilio no compensa el beneficio que puede tener con acudir a
tratamiento hospitalario. La paciente sabe realizar los ejercicios y los hace de forma habitual en domicilio. Alta
por parte de rehabilitación. Ha perdido apetito, pesa 46kg. IMC 20.4. No ha empezado a tomar suplementos,
quiere empezar a probar. Buena adherencia a tto inhalado, atroaldo 1-2 veces al día. No está usando oramorph.
OCD portátil y estacionario a 2lpm/16h, recomendando bajar a 1lpm. En seguimiento por psiquiatría (con ajuste).
Sigue sin fumar desde aprox 2004. Vacunación completada, actualizada. PPCC: - Prueba broncodilatadora (o con
tratamiento): FVCBD%: 80.8. - FEV1 BD%:36.6. - FEV1/FVC % BD: 36.38. Estabilidad funcional. -
Gasometría: - FiO2: 28 (2lpm) - pH: 7.404. - pO2[mmHg]: 75. - pCO2[mmHg]: 38.2. - SatO2: 95. - HCO3-: 23.8.
- D(A-a) O2 [Diferencia Alveolo Arterial de O2]: 76.89.'

output: {"EPOC segun evolutivo": "Si", "EPOC segun dx estructurado": "Si", "EPOC": "Si", "EPOC avanzado
estudio pretrasplante": "No", "VMNI": "No", "EPOC avanzado tratamiento sintomatico": "Si", "+2
agudizaciones": "Si", "Ingreso hospitalario": "No", "Morbilidad no controlada": "No", "FEV1": "FEV1 < 50%",
"Dx reciente": "No"}

Ejemplo de funcionamiento mostrando árbol de decisión y dónde se encuentra la información:

MÉDICO RESPONSABLE: <ES_PERSON> SERVICIO RESPONSABLE: NEUMOLOGÍA - C

HISTORIA DE NEUMOLOGÍA

EN SEGUIMIENTO POR:

- EPOC GOLD 2A.
- AOS grave (IAH 104) diagnosticado en mayo/23 - Insuficiencia respiratoria crónica
- Esquizofrenia paranoide, estable psicopatológicamente - Exfumador

EVOLUTIVO

REVISION 20/05/2025

Notas:

Ha finalizado la RR. Le ha venido muy bien, sigue en casa.

Vacunado

No agudizaciones

No tos, no expectoración habitual. Disnea basal al subir cuestras.

Uso de cpap adecuado.

SpO2 basal 92%

AP: MVC sin agregados.

“EPOC según evolutivo”: “Si”

1. PFR:

- ESPIROMETRÍA (25/4/23): FVC: 3390(82%), FEV1: 1720(57%), FEV1/FVC: 51%.
- DIFUSIÓN: DLCO SB: 50%, DLCO VA: 57%
- MEP (cmH2O): 70 (34%)
- MIP (cmH2O): -45 (42%)
- ESPIROMETRÍA (05/2024) FVC (L) 3,05 74% FEV1 1,54 51% FEV1/FVC 51%
- PLEISMOGRAFIA: RV 155% TLC 134% DLCOunc 46% KCO 57%
- CULTIVO DE ESPUTO: flora mixta no baar
- 05/2025:

ESPIROMETRÍA

FVC (L) 3,19 4,12 77

FEV1 (L) 1,71 3,00 57

FEV1/FVC (%) 53 98 55

RV (L) 1,94 2,33 83

TLC (L) 6,13 6,02 102

DLCOunc (ml/min/mmHg) 12,66 25,80 49 DL/VA (ml/min/mmHg/L) 2,40 4,29 56

2. - ANALÍTICA (3/5/23): IgE total 218.00, Alfa-1-Antitripsina 154.00 (normal)

3. POLIGRAFÍA (3/5/23): AOS grave (IAH 103)

4. ECOCARDIOGRAMA (3/5/23), CONCLUSIONES:

- Ventrículo izquierdo no dilatado, sin hipertrofia. Función sistólica global normal (62 %), sin alteraciones de la contractilidad. Patrón de llenado transmitral normal con presiones de llenado normales.
- Ventrículo derecho impresionado de mínimamente dilatado (diámetro basal de 42mm), normofuncionante.
- Aurícula izquierda no dilatada. Aurícula derecha no dilatada
- Válvula mitral morfológica y funcionalmente normal.
- Válvula aórtica trivalva, morfológica y funcionalmente normal (vel. 1.55 m/s).
- Válvula tricúspide morfológicamente normal con insuficiencia ligera que permite estimar gradiente AD-VD 45 mmHg (vel. 3.37 m/s). Riesgo alto de HTP
- Válvula pulmonar morfológica y funcionalmente normal.
- Raíz de aorta de tamaño normal, cayado aórtico mal visualizado. Aorta ascendente normal.
- Sin derrame pericárdico. Vena cava inferior no dilatada.

5. GASOMETRÍAS:

- GASOMETRIA ARTERIAL BASAL (4/4/23): ph: 7.40, pco2: 43.2, po2: 43.2, HCO3: 27.1, sO2: 85%.
- GASOMETRIA ARTERIAL BASAL (05/2024) ph: 7.39, pco2: 42, po2: 56, HCO3 25.4, sO2: 89 %.

DIAGNÓSTICO:

- **EPOC GOLD 2A**
- AOS grave (IAH 104) diagnosticado en mayo/23
- Insuficiencia respiratoria crónica
- Esquizofrenia paranoide, estable psicopatológicamente - Exfumador

“EPOC según dx estructurado”: “Si”

Plan: **seguimiento en un año con espiro difu pletis y marcha**

“Alta”: “No”

PLAN DE ACTUACIÓN Y RECOMENDACIONES

- TRIMBOW NEXTHALER 2 INHALACIONES CADA 12 HORAS.
- SALBUTAMOL SI PRECISA POR TOS PITOS O AHOGO
- **CPAP 8CMH20 CON O2 AÑADIDO Y MASCARILLA NASOBUCAL**
- OXIGENO PORTATIL A 3PULSOS PARA SALIR A ANDAR (LO RECLAMO A OXIMESA PRESCRITO EN 2022 Y AÚN NO SE LO HAN LLEVADO)

“VMNI”: “Si”

Fecha: 20/05/2025 11:10

Fdo: <ES_PERSON>

No Colegiado: <ES_DOCTOR_ID>

Output del LLM: {

'EPOC segun evolutivo': 'Si',

'EPOC segun dx estructurado': 'Si',

'EPOC': 'Si',

'Alta': 'No',

'EPOC avanzado estudio pretrasplante': 'No',

'VMNI': 'Si',

'EPOC avanzado tratamiento sintomatico': None, '+2 agudizaciones': None,

'Ingreso hospitalario': None,

'Morbilidad no controlada': None,

'FEV1': None,

'Dx reciente': None }

Regla del prompt aplicada

No se menciona valoración de trasplante pulmonar

El resto de campos no se evalúan porque VMNI es “Si” y esto ya da lugar a la asignación de una vía

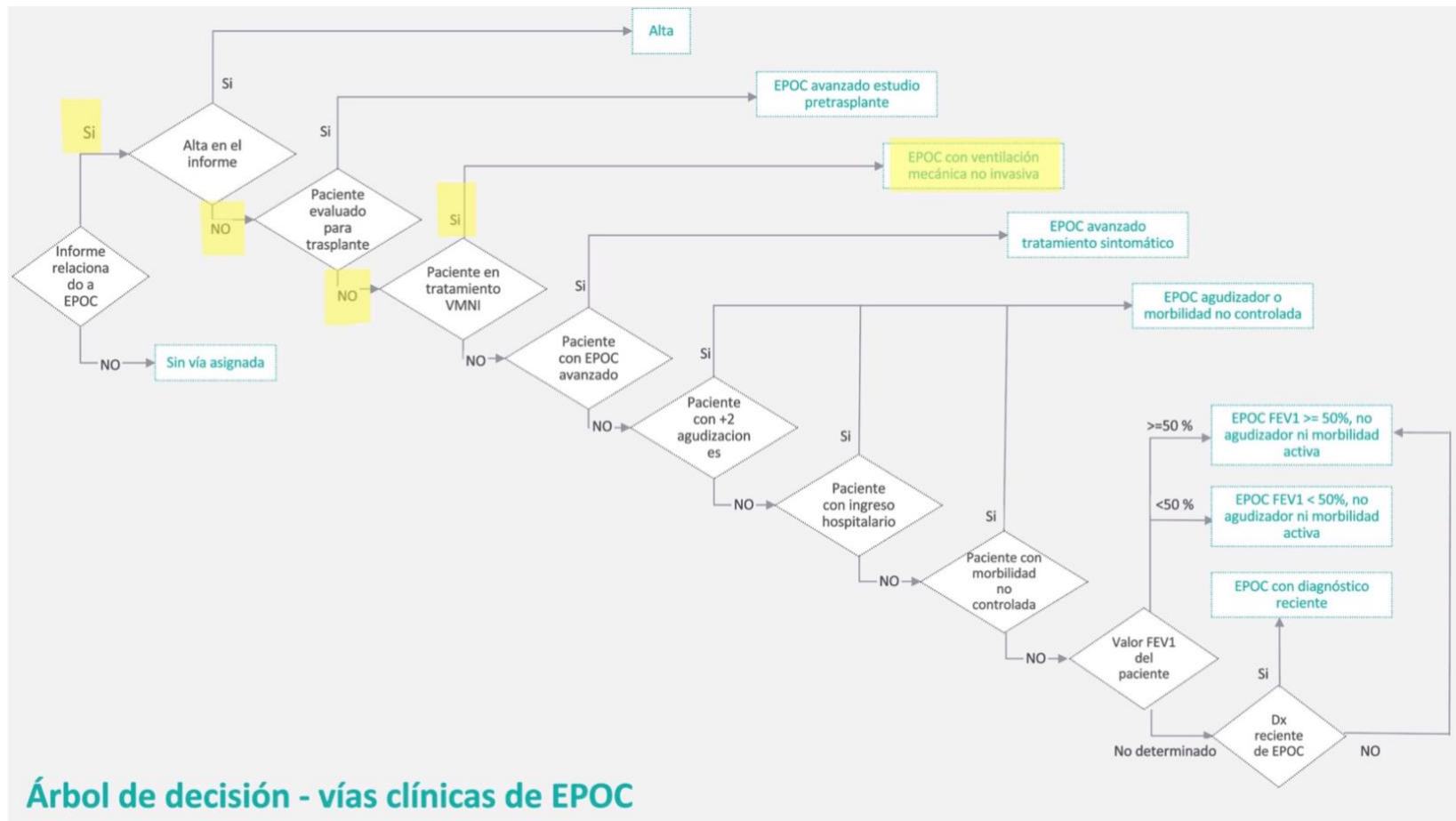


Figura 23. Ejemplo de navegación en el Árbol de decisión para las vías clínica de EPOC.

5. Capítulo V: Metodología de análisis

El presente análisis se basa en un diseño de series temporales interrumpidas , una metodología cuasi-experimental ampliamente utilizada para evaluar el impacto de intervenciones implementadas en un momento específico. Este enfoque es particularmente adecuado para estudios en entornos clínicos reales, donde la aleatorización puede no ser factible. La intervención analizada consistió en la introducción del modelo de vías clínicas automatizadas y un algoritmo de procesamiento del lenguaje natural (NLP) en cuatro hospitales académicos de Madrid, con el objetivo de optimizar el proceso diagnóstico y reducir la carga asistencial en consultas externas.

Contexto y población de estudio

El estudio abarcó un período de seis años (1 de enero de 2018 – 30 de junio de 2023, pre-implantación: enero 2018 - abril 2021 y post-implantación: mayo 2021 - junio 2023), durante el cual se registraron 10.033.470 consultas externas de pacientes derivados desde atención primaria a 16 especialidades clínicas (entre las cuales se encontraban medicina interna, endocrinología, cardiología y neumología). La muestra incluyó a todos los pacientes atendidos en este contexto, sin exclusiones basadas en características demográficas o clínicas, lo que permite una evaluación representativa del impacto de la intervención en la práctica clínica habitual (Álvaro de la Parra et al., 2024).

Se distinguió entre grupo de intervención, pacientes atendidos en 16 especialidades clínicas donde se implementó el algoritmo de pedidos automáticos y grupo de referencia, donde se incluyeron 3 especialidades no expuestas a la intervención, seleccionadas por su similitud en perfil de pacientes y flujos asistenciales. Este grupo permitió controlar factores externos (por ejemplo cambios en políticas sanitarias o impacto residual de la pandemia) que pudieran afectar las tendencias observadas.

Descripción de la intervención

En mayo de 2021, se implementó un sistema automatizado que, mediante NLP, generaba conjuntos de órdenes de prueba predefinidos para 257 patologías correspondientes a las 16 especialidades involucradas. Estos pedidos se asignaban automáticamente antes de la primera cita con el especialista, con el propósito de incrementar las tasas de diagnóstico temprano y alta directa a atención primaria, reduciendo así la necesidad de visitas de seguimiento innecesarias (Álvaro de la Parra et al., 2024).

Variables y métricas de evaluación

Resultados primarios:

1. Tasa de diagnóstico, plan de tratamiento y alta de atención primaria en primera cita: Medida como la proporción de pacientes con un diagnóstico confirmado durante la primera consulta, tiene el objetivo de cuantificar la resolución temprana de casos, reflejando eficiencia diagnóstica (% de casos resueltos sin necesidad de derivación adicional).

$$Tasa = \left(\frac{N^{\circ} \text{ pacientes con diagnóstico/plan tratamiento+ alta a AP en 1}^{\text{a}} \text{ cita}}{N^{\circ} \text{ total de primeras citas}} \right) \times 100$$

2. Índice de seguimiento hasta la primera cita: Frecuencia de citas posteriores requeridas para completar el proceso diagnóstico. Tiene el objetivo de medir la carga de visitas adicionales evitables. Un índice menor indica éxito de la intervención.

$$\text{Índice de seguimiento} = \frac{N^{\circ} \text{ total de citas de seguimiento}}{N^{\circ} \text{ de primeras citas}}$$

Resultado secundario:

- Tasa de "no asistencia": Tendencia en el porcentaje de pacientes que no acudieron a sus citas programadas.

$$Tasa\ de\ "no\ asistencia" = \left(\frac{N^{\circ}\ de\ no\ asistencias}{N^{\circ}\ de\ citas\ de\ seguimiento} \right) \times 100$$

Registros complementarios:

- Se registró la tasa de rechazo a la intervención (% de pacientes que declinaron participar en el nuevo modelo durante el período de implementación).
- Se registró semestralmente el número de pruebas diagnósticas para poder realizar una comparación entre el volumen en el período basal enero-junio 2018 y en el período post-intervención enero-junio 2023.

Con el objetivo de compensar el efecto en la medición de las fluctuaciones en la demanda asistencial se desarrolló el siguiente indicador (Álvaro de la Parra et al., 2024):

$$\text{Índice pruebas por citas} = \left(\frac{N^{\circ}\ total\ de\ pedidos\ de\ pruebas}{N^{\circ}\ total\ de\ citas\ ambulatorias} \right) \times 100$$

Consideraciones metodológicas

El uso de análisis de segmentación de regresión lineal permitió evaluar cambios en las pendientes y niveles de las series temporales antes y después de la intervención, controlando posibles factores de confusión como estacionalidad o tendencias preexistentes gracias a la recogida de datos mensual, integrada en los procesos hospitalarios habituales.

Fortalezas y limitaciones del estudio

Fortalezas metodológicas

1. Diseño cuasi-experimental robusto

- El análisis de series temporales interrumpidas se considera el método cuasi-experimental más riguroso cuando la aleatorización no es viable, como en entornos clínicos reales. Este diseño permite evaluar el impacto de la intervención al comparar tendencias antes y después de su implementación, controlando factores de confusión temporales.

2. Tamaño muestral y potencia estadística

- La inclusión de más de 10 millones de consultas ambulatorias proporciona una base de datos amplia, lo que incrementa la precisión de las estimaciones y reduce el riesgo de errores aleatorios.
- El período prolongado de estudio (6 años) garantiza un número suficiente de puntos de datos (26 preintervención y 26 postintervención), cumpliendo con los requisitos para un análisis sólido y minimizando la influencia de fluctuaciones a corto plazo (Álvaro de la Parra et al., 2024).

3. Control de factores de confusión temporales

- La exclusión de datos correspondientes al primer año de la pandemia de COVID-19 (tres primeras oleadas) mitiga el sesgo derivado de las disrupciones asistenciales durante ese período, asegurando que los resultados reflejen el efecto real de la intervención y no artefactos pandémicos.
- La incorporación de un grupo de referencia con características similares al grupo de intervención permite controlar variables temporales externas (por ejemplo cambios en políticas sanitarias o demanda asistencial), reforzando la validez interna del estudio.

Limitaciones y consideraciones

1. Posible confusión residual

- Aunque se ha tratado de controlar las tendencias temporales, el diseño no ajusta por variables no medidas que pudieran haber cambiado concurrentemente con la intervención (ej. modificaciones en protocolos clínicos no registradas). Esto podría introducir sesgos residuales.

2. Generalización de resultados

- El estudio se limitó a cuatro hospitales académicos en Madrid, por lo que la extrapolación a otros entornos (ej. hospitales no universitarios o regiones con menor acceso tecnológico) debe hacerse con cautela. La efectividad del algoritmo podría variar según recursos locales o perfiles de pacientes.

3. Impacto de la pandemia

- A pesar de censurar el período COVID-19 agudo, efectos indirectos prolongados (ej. saturación posterior o cambios en hábitos de consulta) podrían persistir en los datos postintervención. Un análisis de sensibilidad que extendiera el período de exclusión podría evaluar este potencial sesgo.

4. Automatización y errores de implementación

- La intervención dependió de la integración correcta del modelo en los flujos de trabajo clínicos. Fallos técnicos no documentados (ej. órdenes erróneas o falta de adherencia por parte de los profesionales) podrían subestimar el efecto real de la herramienta.

5. Monitorización: La monitorización propia del estudio pudo influir en el comportamiento de los profesionales, tratando de aumentar el impacto del algoritmo (Álvaro de la Parra et al., 2024).

Hipótesis principal

Se postuló que la implementación del modelo de vías clínicas automatizadas y el algoritmo basado en NLP, diseñado para automatizar la solicitud de pruebas diagnósticas antes de la primera consulta especializada, generaría los siguientes efectos:

1. Aumento en la proporción de pacientes con diagnóstico concluyente y plan de tratamiento establecido en la primera cita.
2. Incremento en las tasas de alta directa a atención primaria, al reducir la necesidad de derivaciones adicionales.
3. Disminución significativa en citas de seguimiento de bajo valor (evitables mediante pruebas previas).
4. Reducción en las tasas de "no asistencia", atribuible a una mayor eficiencia en la asignación de recursos y menor redundancia en visitas.

Procesamiento de datos

1. Diseño del análisis de series temporales interrumpidas

El estudio empleó un enfoque de series temporales interrumpidas, metodología reconocida por su rigor en la evaluación de intervenciones implementadas en contextos no aleatorizados. La fecha de interrupción se estableció en el 1 de mayo de 2021, coincidiendo con la implementación generalizada del modelo. Para aislar el efecto de la intervención de las distorsiones causadas por la pandemia de COVID-19, se censuró el período entre marzo de 2020 y marzo de 2021, correspondiente a las tres primeras oleadas pandémicas en España, durante las cuales se suspendió la atención ambulatoria electiva. Tras esta depuración, el análisis incluyó 52 puntos temporales mensuales (26 preintervención y 26 postintervención), garantizando una base sólida para la comparación (Álvaro de la Parra et al., 2024).

2. Especificación del modelo estadístico

Cada modelo de series temporales interrumpidas incorpora tres componentes clave para evaluar el impacto de la intervención:

1. Tendencia preintervención ("Tiempo"): Un término de regresión lineal que capturaba la dirección y magnitud de la tendencia mensual antes de la implementación del algoritmo.
2. Efecto inmediato postintervención ("Intervención"): Una variable binaria (0 = preintervención, 1 = postintervención) que cuantificaba cambios abruptos en el nivel de las métricas tras mayo de 2021.
3. Tendencia postintervención ("Tiempo después"): Un término adicional que evaluaba si la pendiente de las series temporales se modificaba tras la intervención, más allá del cambio inicial.

La inclusión de estos términos permitió discernir entre efectos transitorios (cambios de nivel) y sostenidos (cambios de tendencia). Los datos del período COVID-19 se manejaron codificando la variable de intervención como missing durante esos meses, evitando su influencia en las estimaciones.

3. Procesamiento técnico y validación del modelo

- Estimación y software: Los modelos se ajustaron mediante estimación de máxima verosimilitud condicional utilizando el paquete *StatsModels* v0.14.0 (función *AutoReg*) en Python, con intervalos de confianza del 95% (valores *p* calculados de la misma manera).
- Control de autocorrelación: Se aplicó un proceso de eliminación hacia atrás para identificar el número óptimo de parámetros de autocorrelación, priorizando modelos parsimoniosos.

- Validación del ajuste:
 - Se empleó el criterio de información de Akaike para comparar modelos.
 - Los residuos se inspeccionaron visualmente mediante:
 - Gráficos de residuos estandarizados vs. predicciones.
 - Histogramas con densidades estimadas.
 - Gráficos Q-Q normales para verificar normalidad (Álvaro de la Parra et al., 2024).

4. Cálculo de efectos atribuibles e imputación de datos

Para cuantificar el impacto real de la intervención:

- Cambios en tasas de alta y no asistencia: Los coeficientes significativos de las series temporales se dividieron por el número de puntos postintervención (26 meses), obteniendo diferencias absolutas mensuales. Por ejemplo, un coeficiente de +2,0 en la tasa de altas implicaría una mejora mensual de 0,077 puntos porcentuales ($2,0/26$).
- Reducción de citas de seguimiento: Mediante simulación contrafactual, se extrapoló la tendencia del grupo de control (no expuesto) al grupo de intervención, asumiendo escenarios de "no intervención". La diferencia entre citas observadas y simuladas representó las citas evitadas, con ajuste por mes para evitar sobreestimaciones.

5. Control de factores externos: Grupo de referencia

Para aislar el efecto del algoritmo de variables exógenas (por ejemplo cambios en modalidades de atención como el aumento de prestación de atención virtual), se incluyó un grupo de referencia de tres especialidades (alergología, cirugía cardiovascular y oftalmología) no sujetas a la intervención. Estas especialidades:

- Compartían características organizativas y demográficas con las del grupo de estudio.
- Fueron analizadas con idénticos modelos de series temporales, permitiendo detectar cambios atribuibles únicamente a factores externos (Álvaro de la Parra et al., 2024).

6. Capítulo VI: Comparación antes y después de la IA

La introducción de las vías clínicas automatizadas y del algoritmo basado en procesamiento del lenguaje natural para la solicitud de pruebas diagnósticas (protocolos estandarizados de solicitud de pruebas para 257 condiciones clínicas diferentes, abarcando 16 especialidades médicas) en los cuatro hospitales universitarios de Madrid gestionados por Quirónsalud (H. Rey Juan Carlos, H. General de Villalba, H. Infanta Elena y H. Fundación Jiménez Díaz, denominados RED4H), ha demostrado un impacto significativo en diversos indicadores clave de eficiencia y calidad asistencial.

Dicha red hospitalaria atiende a una población de referencia que supera el millón de personas y registra anualmente un volumen superior a 500.000 primeras consultas especializadas en sus centros ambulatorios. Dicha cifra ha experimentado un crecimiento sostenido durante los últimos años.

Se ha recopilado y comparado la información acerca de dichos indicadores clave antes de su implementación (enero 2018 - abril 2021) y después de su implementación (mayo 2021 - junio 2023). La fecha de intervención fue el 1 de mayo de 2021, momento en que se implementó definitivamente el algoritmo en las 16 especialidades clínicas participantes. Sin embargo, fue necesario considerar el impacto de la pandemia COVID-19 en la actividad de los hospitales. Durante el periodo comprendido entre marzo de 2020 y marzo de 2021 (que abarcó las tres primeras olas pandémicas en España), se suspendieron temporalmente la mayoría de las consultas externas no urgentes, incluyendo las primeras visitas programadas.

Para garantizar la validez de los resultados, esta fase excepcional de 12 meses es excluida del análisis. Esta decisión metodológica permite aislar el efecto específico de la intervención, evitando la contaminación de los datos por las distorsiones generadas por la crisis sanitaria en la atención ambulatoria ordinaria (Álvaro de la Parra et al., 2024).

Como objetivos principales se han analizado cuatro indicadores clave: la capacidad para realizar el diagnóstico y el alta en la primera cita (establecimiento de un primer diagnóstico definitivo y el plan a seguir, entendiendo como alta el alta médica, la inclusión en un programa de citas y tratamiento determinado o la inclusión en lista de espera quirúrgica), la descarga de trabajo a la atención primaria de los hospitales, la evolución temporal del ausentismo a las citas programadas y el tiempo medio global desde la derivación hasta la primera consulta. Complementariamente se ha evaluado la variación en la utilización de pruebas diagnósticas.

1. Diagnóstico y alta en primera cita:

En el periodo analizado de seis años, se registraron un total de 10.033.470 citas ambulatorias, distribuidas en 7.326.548 citas de seguimiento y 2.706.922 primeras consultas. La serie temporal reflejó un incremento progresivo en el volumen de primeras citas en comparación con los años 2018-2019. No obstante, la pandemia de COVID-19 (2020-2021) generó una disrupción significativa en la actividad ambulatoria, con una posterior recuperación hasta alcanzar niveles prepandémicos en 2022. Durante 2023, no solo se consolidó dicha recuperación, sino que se superaron los volúmenes de citas previos a la crisis sanitaria (Álvaro de la Parra et al., 2024).

La introducción del algoritmo en mayo de 2021 marcó un punto de inflexión en la gestión de las primeras consultas. En el periodo postimplantación (hasta junio de 2023), se emitieron órdenes automáticas de pruebas diagnósticas para 1.175.814 primeras citas, abarcando 16 especialidades médicas. Este cambio metodológico permitió optimizar el proceso diagnóstico, evidenciándose un incremento notable en la resolución temprana de casos. Concretamente, 282.692 pacientes (26,11%) recibieron un diagnóstico y fueron derivados a atención primaria con un plan terapéutico establecido durante su primera visita, frente a 226.291 pacientes (20,51%) en la fase preintervención (Álvaro de la Parra et al., 2024).

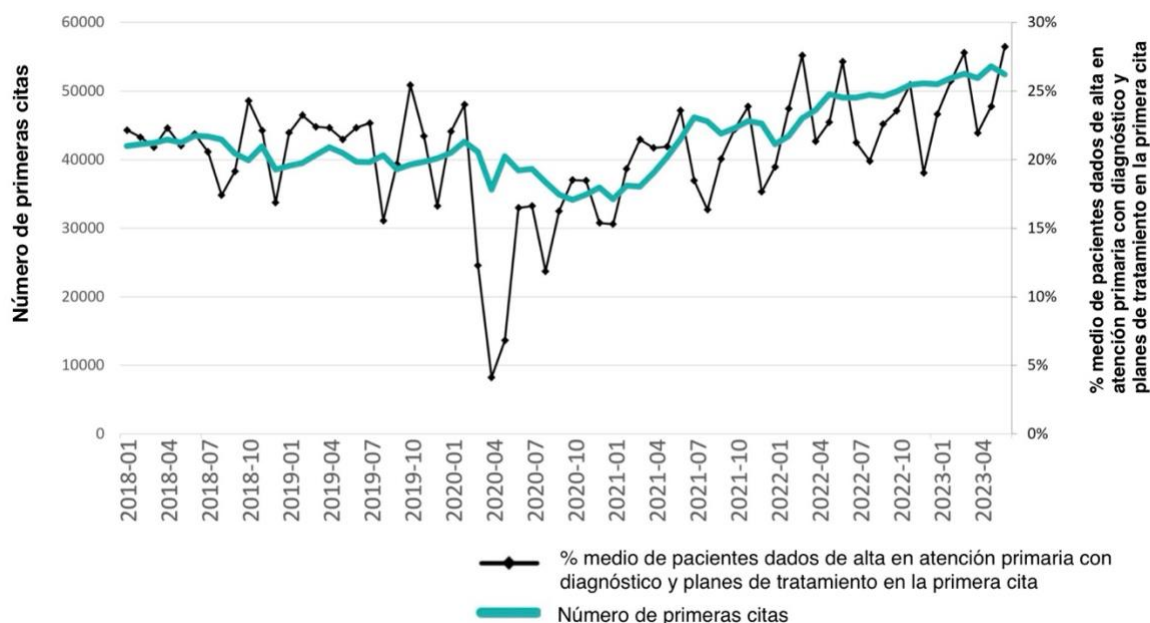


Figura 24. Número total de primeras citas ambulatorias y porcentaje de pacientes que reciben diagnósticos y planes de tratamiento en la primera cita, con alta en atención primaria, durante el periodo de estudio. Fuente: Álvaro de la Parra et al., 2024.

Al analizar el impacto atribuible exclusivamente al algoritmo, se estimó un aumento absoluto de 19.989 altas precoces a atención primaria con diagnóstico y/o tratamiento definido durante el periodo posterior a su implementación, lo que equivale a un incremento mensual de 769 casos. Esta mejora en la eficiencia diagnóstica no solo redujo la carga asistencial en las consultas especializadas, sino que también agilizó el acceso a terapias para los pacientes, optimizando los recursos del sistema (Álvaro de la Parra et al., 2024).

La comparación entre ambos periodos demuestra que la intervención tecnológica no solo mitigó los efectos de la pandemia, sino que generó un modelo más eficiente en la gestión de la demanda ambulatoria, con resultados cuantificables en términos de resolución temprana y reducción de citas innecesarias.

Resumen resultados post-implementación:

- El porcentaje de altas en primera cita aumentó de un 20,51% a un 26,11%, un incremento absoluto de 5,6 puntos porcentuales.
- Traducido a cifras absolutas: 56.401 pacientes adicionales fueron diagnosticados y tratados en su primera visita, evitando derivaciones innecesarias, de los cuales se calcula que 19.989 pacientes fue el aumento absoluto de pacientes debido al cambio de tendencia atribuible al algoritmo (769 mensuales) (Álvaro de la Parra et al., 2024).

2. Citas de seguimiento evitables:

La implementación del algoritmo permitió una reducción significativa en el número de citas de seguimiento consideradas innecesarias. Durante el periodo de intervención, se estimó una disminución atribuible de 293.954 citas de seguimiento, lo que equivale a un promedio de 11.306 citas evitadas mensualmente. Esta optimización en la gestión de la demanda asistencial tuvo un efecto directo en la disponibilidad de agendas médicas, liberando capacidad para atender otras necesidades clínicas (Álvaro de la Parra et al., 2024).

Los 11.306 espacios de cita liberados cada mes como consecuencia de esta reducción se reasignaron en su totalidad a la atención de primeras consultas, mejorando así el acceso a una evaluación médica oportuna. Este reajuste contribuyó a una distribución más eficiente de los recursos y redujo los tiempos de espera para pacientes que requerían una primera valoración especializada (Álvaro de la Parra et al., 2024).

La comparación entre los periodos pre y postintervención demuestra que la aplicación del algoritmo disminuyó la carga asistencial derivada de seguimientos redundantes y permitió reorientar dicha capacidad hacia una atención más resolutive en las primeras consultas. Este cambio en el flujo de trabajo optimizó la eficiencia del sistema sin comprometer la calidad asistencial.

Resumen resultados post-implementación:

- Reducción atribuible de 293.954 citas de seguimiento en 26 meses (equivalente a 11.306 citas menos al mes) (Álvaro de la Parra et al., 2024).

3. Tasas de "no asistencia" (faltas a consultas):

El análisis de los datos reveló una disminución cuantificable en el número de ausencias a citas médicas ("no asistencias") tras la aplicación del algoritmo. Durante el periodo de intervención, se registró una reducción absoluta de 26.888 "no asistencias" atribuibles directamente al nuevo sistema, lo que representa un promedio mensual de 1.034 citas que dejaron de perderse por este motivo. Al realizarse las pruebas antes de la cita, los pacientes percibían mayor utilidad en la consulta, mejorando su compromiso (Álvaro de la Parra et al., 2024).

La comparación entre los periodos pre y post-implementación demuestra que el algoritmo contribuyó a optimizar la ocupación real de las agendas médicas. Al reducirse significativamente el número de citas desaprovechadas, el sistema ganó en eficiencia operativa, permitiendo un mejor aprovechamiento de los recursos asistenciales disponibles. Este cambio representó una mejora tangible en la productividad del sistema sanitario, al disminuir uno de los factores tradicionales de ineficiencia en la gestión ambulatoria.

Resumen resultados post-implementación:

- Reducción absoluta de 26.888 faltas (1.034 menos al mes) (Álvaro de la Parra et al., 2024).

4. Tiempo medio global desde la derivación hasta la primera consulta:

El análisis de los tiempos de espera revela diferencias significativas entre los centros que implementaron el nuevo sistema y aquellos que mantuvieron el modelo tradicional. Los cuatro centros participantes en el proyecto registraron un tiempo medio global desde la derivación hasta la primera consulta de 11,88 días ($\pm 0,89$), lo que demuestra una notable eficiencia en el proceso de atención.

En contraste, los centros públicos no participantes de la misma región (Madrid, España) presentaron un tiempo medio significativamente mayor de 60,08 días ($\pm 19,22$) para el mismo proceso. Esta marcada diferencia de 48,2 días entre ambos grupos evidencia el impacto positivo del nuevo modelo en la agilización del acceso a la atención especializada.

La diferencia de los tiempos de espera en los centros participantes supera el 80% en comparación con la media de los centros no participantes, lo que representa una mejora sustancial en la accesibilidad al sistema sanitario. La desviación estándar notablemente menor ($\pm 0,89$ frente a $\pm 19,22$) en los centros intervenidos sugiere además una mayor consistencia y predictibilidad en los tiempos de espera, reduciendo la variabilidad en la experiencia de los pacientes (Álvaro de la Parra et al., 2024).

Estos resultados cuantitativos demuestran que la implementación del nuevo sistema optimizó los tiempos de respuesta del sistema y además estableció un modelo más equitativo y uniforme en la gestión de las derivaciones a atención especializada.

Resumen resultados post-implementación:

- Diferencia del 80,2% en tiempos de espera (de 60,08 a 11,88 días)
- Diferencia absoluta de 48,2 días menos de espera promedio
- Mayor consistencia: Centros participantes $\pm 0,89$ días de variación frente a los centros no participantes $\pm 19,22$ días de variación (Álvaro de la Parra et al., 2024).

5. Utilización de pruebas diagnósticas

El análisis de los datos correspondientes al periodo 2018-2023 reveló una disminución global del 2,67% en las tasas de solicitud de pruebas diagnósticas. Esta reducción se observó de manera particular en las radiografías simples, electromiogramas y pruebas de laboratorio, que mostraron un descenso progresivo durante el periodo estudiado. Contrariamente, se registró un incremento moderado en las solicitudes de resonancia magnética (+1,32%) y tomografía computarizada (+0,89%), tecnologías de imagen más avanzadas (Álvaro de la Parra et al., 2024).

Tabla 8. Índice de pedidos de pruebas/citas ambulatorias para el primer y el último semestre del periodo de estudio (de enero a junio de 2018 y de enero a junio de 2023). Fuente: Álvaro de la Parra et al., 2024.

	Preintervención	Postintervención
Pruebas de laboratorio	45.03	40.33
Tomografías computarizadas	1.79	2.68
Resonancias magnéticas	3.54	4.86
Radiografías simples	5.87	5.70
Electromiograma	0.62	0.60
Total de pedidos de pruebas	56.84	54.17
Índice de pedidos de pruebas/citas ambulatorias: número total de pedidos de pruebas/número total de citas ambulatoriasx100.		

Este patrón diferencial en la demanda de pruebas diagnósticas podría explicarse por dos factores concurrentes: por un lado, la posible mayor complejidad de los pacientes derivados a los centros participantes durante el periodo de estudio; por otro, la implantación de protocolos estandarizados de solicitud de pruebas mediante el algoritmo. Es relevante destacar que, a pesar del incremento en técnicas de imagen avanzada, no se registró ningún aumento en las complicaciones asociadas al uso de contraste intravenoso.

Los resultados demuestran que la implementación del algoritmo no generó un incremento generalizado en la solicitud de pruebas diagnósticas ni en sus costes asociados. Por el contrario, se constató una ligera disminución global en los pedidos de pruebas para consultas externas entre 2018 y 2023. Este dato resulta significativo, ya que indica que la automatización de procesos mediante el algoritmo no incrementó la demanda diagnóstica, sino que contribuyó a mantenerla controlada, optimizando así la utilización de recursos.

Resumen resultados post-implementación:

- Reducción global del 2,67% en solicitudes de pruebas (2018 vs. 2023), a pesar del aumento de pacientes atendidos.
- Resonancia magnética (RM) y tomografía computarizada (TC): Aumento leve (+1,32% y +0,89%, respectivamente), atribuible a mayor detección de casos complejos (Álvaro de la Parra et al., 2024).

6. Aceptación

La implementación del nuevo modelo de prestación asistencial demostró una elevada aceptación entre los pacientes, con una tasa de rechazo inferior al 1%. Este dato indica que la gran mayoría de los usuarios se adhirieron voluntariamente al sistema sin objeciones significativas, lo que sugiere una buena acogida del cambio organizativo.

El estudio presenta ciertas limitaciones que deben considerarse. En primer lugar, no se recogieron datos sistemáticos sobre la experiencia subjetiva de los pacientes, ya que este aspecto no formaba parte de los indicadores incluidos en la recogida rutinaria de información. En segundo lugar, el diseño del algoritmo no contó con la participación directa de los pacientes en su desarrollo.

No obstante, el bajo porcentaje de rechazo (menos del 1%) constituye un indicador indirecto de la satisfacción o al menos de la ausencia de resistencia significativa por parte de los usuarios hacia el nuevo modelo. Esta baja tasa de negativa a participar refuerza la viabilidad de la implementación del sistema desde la perspectiva de la aceptabilidad por parte de los pacientes.

Resumen resultados post-implementación:

- Participación paciente: Menos del 1% de pacientes rechazó el nuevo modelo, indicando alta aceptación (Álvaro de la Parra et al., 2024).

Tabla 9. Resultados post-implementación. Fuente: Álvaro de la Parra et al., 2024

Indicador	Resultado Pre-Implementación	Resultado Post-Implementación	Diferencia (Absoluta)	Impacto Acumulado
Altas en primera cita (%) Aumento atribuible al algoritmo	20,51%	26,11%	+5,6 puntos porcentuales 19.989 pacientes (769/mes)	56.401 pacientes adicionales tratados
Reducción de citas de seguimiento	-	-	293.954 en 26 meses (11.306/mes)	Aumento de primeras consultas (conversión)
Reducción de faltas	-	-	26.888 (1.034/mes)	Aumento de primeras consultas (conversión)
Tiempo de espera promedio (días)	60,08 días (centros públicos no participantes)	11,88 días (Los cuatro centros participantes)	-48,2 días	80,2% de reducción
Consistencia entre centros (variación)	±19,22 días (no participantes)	±0,89 días (participantes)	-18,33 días	Mayor uniformidad
Solicitudes de pruebas (global)	Nivel base (2018)	-2,67% (2023)	-2,67%	Reducción del nº total de pruebas pese a más pacientes tratados
Resonancia Magnética (RM)	-	+1,32%	+1,32%	Mayor detección de casos complejos
Tomografía Computarizada (TC)	-	+0,89%	+0,89%	
Rechazo del modelo por pacientes	-	<1%	<1%	Alta aceptación

Por último, se ha extraído también la evolución en la capacidad para realizar el diagnóstico y el alta en la primera cita mediante los resultados del año 2024, primer año en el que además de contar con los protocolos de vías clínicas automatizadas y el algoritmo basado en procesamiento del lenguaje natural para la solicitud de pruebas diagnósticas, se consolidó el uso de la herramienta Scribe, la IA que transcribe las consultas médicas.

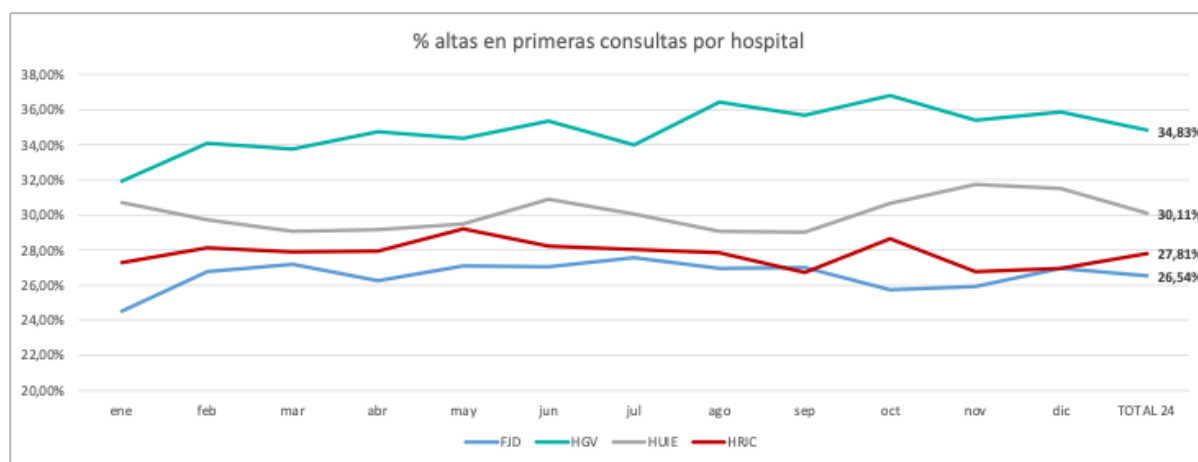


Figura 25. Evolución del porcentaje de altas en primera consulta (pacientes que reciben diagnósticos y planes de tratamiento en la primera cita, con alta en atención primaria) a lo largo del año 2024 y por hospital. Fuente: Quirónsalud (Gerencia)

Los datos recopilados evidencian la consolidación de estrategia. Aunque es cierto que si se analizan determinadas especialidades de forma individual, en momentos puntuales ha podido bajar el porcentaje por falta de médicos y/o renovación de profesionales, gracias a la estrategia establecida, en el cómputo global de cada uno de los hospitales estudiados, además de cumplir con sus objetivos presupuestarios, se ha logrado mantener o incluso superar los porcentajes de altas en primera consulta.

Cabe destacar que dichos porcentajes ya habían sido incrementados considerablemente en comparación con los valores iniciales antes de la implantación de las tecnologías de IA y automatización en la práctica médica, pasando del 20,51% al 26,11% y un año después, esos valores se han logrado mantener e incluso superar (Quirónsalud, Gerencia).

Impacto económico de la implementación de IA en el sistema hospitalario

Para evaluar el impacto económico de la implementación de IA en Quirónsalud, se ha realizado un análisis coste-beneficio basado en los resultados obtenidos durante los 26 meses posteriores a la implantación, comparados con el período equivalente previo.

Se han considerado:

- Ingresos adicionales generados por mayor eficiencia.
- Costes evitados por reducción de actividades innecesarias.
- Inversión inicial en tecnología y formación.
- Métricas financieras clave (ROI y payback period).

Impacto en los ingresos

Mayor capacidad de atención en primeras consultas debido a una mayor eficiencia global del sistema:

- Nº de primeras consultas adicionales: 19.989
- Tarifa media por consulta: 121 €
- Ingreso incremental: $19.989 \times 121\text{€} = 2.418.669 \text{ €}$

Conversión de consultas de seguimiento a primeras consultas gracias al nuevo modelo organizativo:

- Reducción de consultas de seguimiento: 293.954 (72 €/consulta)
- Conversión a primeras consultas: 293.954 (121 €/consulta)
- Impacto neto: $293.954 \times (121 \text{ €} - 72 \text{ €}) = 14.403.746 \text{ €}$

Reducción de ausencias

- Ausencias evitadas: 26.888
- Ingresos recuperados por conversión de ausencias a primeras consultas:
 $26.888 \times 121 \text{ €} = 3.253.448 \text{ €}$

Incremento Total de ingresos: 20.075.863 €

Análisis de Costes

Costes operativos directos:

- Incremento de costes debido a las primeras consultas adicionales por mayor eficiencia global del sistema: $19.989 \times 61\text{€} = 1.219.329\text{€}$
- Incremento neto de los costes operativos por la conversión de citas de seguimiento en primeras consultas:
 - Costes no incurridos en seguimientos: $293.954 \times 34\text{€} = 9.994.436\text{€}$
 - Costes nuevos por primeras consultas: $293.954 \times 61\text{€} = 17.931.194\text{€}$
 - Incremento neto de costes: $7.936.758\text{€}$
- Incremento de costes operativos debido a las nuevas primeras consultas en sustitución de las ausencias evitadas:
 - Coste nuevas primeras consultas: $26.888 \times 61\text{€} = 1.640.168\text{€}$
- Aumento de eficiencia en el uso de pruebas diagnósticas
 - Total consultas desde la implementación de la IA: 5.044.935
 - Reducción del 2,7 % de consultas con pruebas
 - Coste medio por cita con pruebas 53 €
 - Reducción neta de costes: $5.044.935 \times (2,7/100) \times 53 = 7.219.301,99\text{€}$

Incremento Total de costes: 3.576.953,01 €

Inversión necesaria para implementar el sistema de IA

- Desarrollo algoritmos e implementación en los sistemas empleados: 1.200.000 €/año
- Formación: 250.000 €/año
- Infraestructura y su mantenimiento: 800.000 €/año

Total inversión: 2.250.000 €/año o 6.750.000 € (aunque se extrapolara el efecto de implementación de la IA con los datos de 26 meses la inversión se hizo en 3 años fiscales).

Tabla 10. Tabla resumen con los datos más significativos de Costes / Beneficios. Fuente: Elaboración propia.

Concepto	Ingresos (€)	Costes (€)
Primeras consultas adicionales (mayor eficiencia global del sistema)	2.418.669 €	1.219.329 €
Conversión de seguimientos a primeras consultas (neto)	14.403.746 €	7.936.758 €
Reducción de ausencias (sustituidas por primeras consultas)	3.253.448 €	1.640.168 €
Ahorro por reducción de pruebas diagnósticas	—	-7.219.302 €
Total variación de ingresos / costes operativos	20.075.863 €	3.576.953 €
Inversión en IA (3 años: desarrollo, formación, infraestructura y mantenimiento)	—	6.750.000 €

Recogiendo los impactos calculados del proyecto en los ingresos y en los costes:

- Ingresos incrementales totales:	20.075.863	€
- Costes incrementales totales:	3.576.953,01	€
- Beneficio neto antes de inversión:	16.498.909,99	€
- Inversión total en IA:	6.750.000	€
- Beneficio neto final:	9.748.909,99	€

Métricas financieras clave:

- Retorno de la Inversión (ROI): $ROI = (\text{Beneficio neto} / \text{Inversión}) \times 100 = (9.748.909,99 \text{ €} / 6.750.000 \text{ €}) \times 100 = 144,43\%$
- Período de Recuperación (Payback) (calculado según la inversión anual):

Beneficio mensual promedio: $9.748.909,99 \text{ €} / 36 = 270.803,06 \text{ €/mes}$

Payback anual = $2.250.000 \text{ €} / 270.803,06 \text{ €} = 8,31 \text{ meses}$

Resultados finales:

La implementación de IA ha generado:

- Beneficio económico neto de 9.748.909,99 € en 36 meses.
- ROI del 144,43% con período de recuperación de la inversión cada año de 8,31 meses.

Nota: Los precios monetarios para la realización de los cálculos han sido facilitados por el equipo financiero de Quirónsalud.

7. Capítulo VII: Análisis de los resultados obtenidos

Resultados de las series temporales, análisis comparativo entre grupos:

La representación gráfica de las series cronológicas segmentadas permite observar la evolución temporal de los principales indicadores evaluados.

En la visualización presentada, se distinguen tres componentes clave:

1. Los marcadores sólidos oscuros reflejan los valores mensuales registrados
2. Los marcadores sombreados identifican el intervalo correspondiente al impacto de la pandemia, que fue excluido del análisis principal
3. Las trayectorias lineales ilustran tanto las tendencias reales como las hipotéticas en ausencia de intervención

La metodología aplicada se fundamenta en el contraste entre:

- La progresión real de los indicadores tras la implantación del sistema (representada por trazo continuo)
- La evolución teórica que habría seguido sin la intervención (indicada por trazo discontinuo)

Este planteamiento analítico ofrece una perspectiva comparativa que aísla el efecto atribuible específicamente a la automatización del proceso, diferenciándolo de otras fluctuaciones temporales. La exclusión del período pandémico inicial garantiza que los resultados no se vean distorsionados por las circunstancias excepcionales de ese intervalo.

El enfoque adoptado proporciona una base sólida para determinar el grado en que la implementación del sistema de prescripción automatizada modificó sustancialmente los patrones asistenciales, particularmente en lo concerniente a la resolución de casos en primera consulta y la optimización de recursos diagnósticos (Álvaro de la Parra et al., 2024).

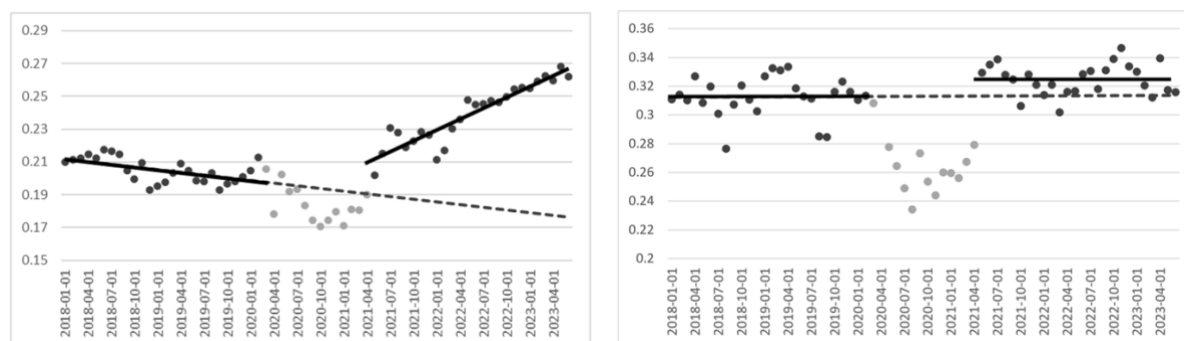


Figura 26. Porcentaje de pacientes que reciben un diagnóstico y un plan de tratamiento en la primera cita con el alta de atención primaria, grupo de implementación y grupo de control. Fuente: Álvaro de la Parra et al., 2024.

La revisión de las tasas de resolución diagnóstica en primera consulta revela diferencias significativas entre los grupos analizados. En el grupo de intervención (panel izquierdo), la implementación del sistema automatizado generó un incremento estadísticamente significativo del 1,7% ($p=0,005$; IC 95%: 0,5% a 2,9%) en la proporción de pacientes que recibieron diagnóstico y plan terapéutico completo durante su primera visita, siendo dados de alta directamente a atención primaria (Álvaro de la Parra et al., 2024).

Este hallazgo contrasta notablemente con la evolución observada en el grupo control (panel derecho), donde las tasas se mantuvieron estables sin variaciones significativas durante todo el período de estudio. La representación gráfica de ambos grupos permite apreciar visualmente esta divergencia:

- El grupo de intervención muestra una clara tendencia ascendente tras la implementación del sistema
- El grupo control presenta fluctuaciones dentro del rango esperado, sin cambios sustanciales en sus patrones

La significación estadística de estos resultados ($p=0,005$) confirma que la diferencia observada no es atribuible al azar, sino al efecto específico de la intervención. El intervalo de confianza del 95% (0,5% a 2,9%) delimita con precisión el rango probable del verdadero efecto del sistema automatizado sobre este indicador clave de eficiencia asistencial.

Estos datos demuestran que la automatización del proceso de solicitud de pruebas diagnósticas previas a la consulta especializada mejora significativamente la capacidad resolutoria en la primera visita, reduciendo la necesidad de derivaciones posteriores y optimizando así el flujo de pacientes en el sistema sanitario.

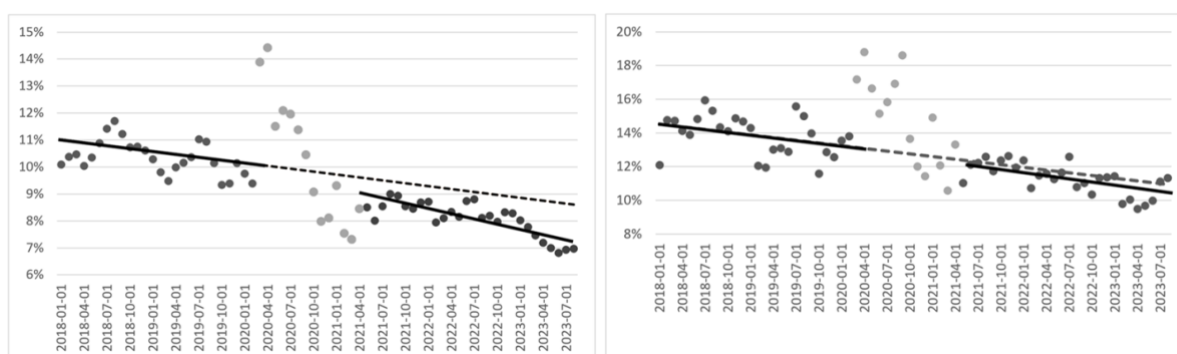


Figura 27. Tasas de «no asistencia», grupo de implementación y grupo de control. Fuente: Álvaro de la Parra et al., 2024.

El análisis comparativo de las tasas de inasistencia a consultas revela un efecto positivo estadísticamente significativo de la intervención automatizada. En el grupo experimental (panel izquierdo), se observó un incremento de la pendiente de reducción sostenida de las tasas de "no asistencia", alcanzando una disminución absoluta del 0.4% ($p=0,044$; IC 95%: -0,1% a -0,8%) correspondiente al efecto de la implementación del algoritmo. El grupo control (panel derecho), por su parte, a pesar de mostrar la tendencia decreciente observada en el grupo de intervención, mantuvo tasas consistentemente más elevadas y no experimentó dicho cambio de pendiente (Álvaro de la Parra et al., 2024).

Esta divergencia entre ambos grupos refuerza la hipótesis de que la reducción en las inasistencias está directamente relacionada con la optimización del proceso mediante pruebas diagnósticas previas.

Los resultados obtenidos presentan una doble relevancia:

1. Clínica: La mejora en la adherencia a las citas sugiere una mayor eficiencia en la asignación de recursos y una mejor experiencia del paciente
2. Organizativa: La reducción de inasistencias contribuye a disminuir tiempos de espera y mejorar la productividad del sistema

La significación estadística ($p=0,044$) y el estrecho intervalo de confianza obtenido avalan la robustez de estos hallazgos. Estos datos apoyan la hipótesis de que la automatización de pruebas previas no solo optimiza los procesos diagnósticos, sino que además genera efectos positivos en la asistencia al reducir las ausencias injustificadas a consulta.

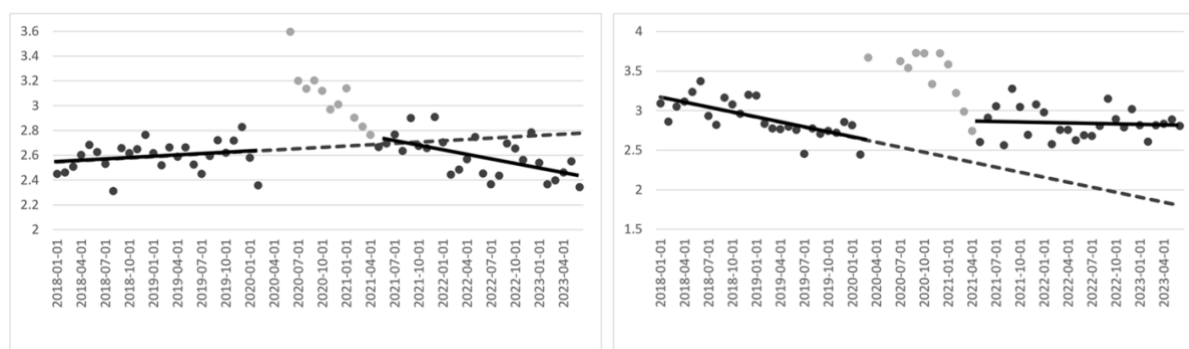


Figura 28. Índice de seguimiento hasta la primera cita, grupo de implementación y grupo de control. Fuente: Álvaro de la Parra et al., 2024.

La evaluación del índice de seguimiento hasta la primera cita revela patrones divergentes entre los grupos de intervención y control. En el grupo que implementó el sistema automatizado (panel izquierdo), se observó una tendencia consistente a la baja en el índice de seguimiento hasta la primera cita desde la implementación, aunque esta reducción no alcanzó significación estadística. Este patrón de mejora contrasta notablemente con el grupo control (panel derecho), que mostró un aumento estadísticamente significativo de 0.25 ($p=0,007$, IC 95%: 0,07 a 0,44) en su índice de durante el mismo período (Álvaro de la Parra et al., 2024).

Aunque la mejora en el grupo de intervención no alcanzó significación estadística, la combinación de esta tendencia positiva con el deterioro significativo en el grupo control sugiere firmemente un efecto protector de la intervención frente al aumento natural en la demanda de seguimiento. La magnitud de las reducciones absolutas demuestra un impacto clínico relevante, más allá de los resultados estadísticos, reforzando la hipótesis de que la reducción en las citas de seguimiento está directamente relacionada con la implementación del sistema automatizado de pruebas previas.

Los datos obtenidos presentan importantes implicaciones para la gestión clínica:

1. Eficiencia del sistema: La menor necesidad de visitas adicionales permite optimizar los recursos asistenciales
2. Experiencia del paciente: Reduce la carga de desplazamientos y esperas innecesarias
3. Calidad asistencial: Indica una mayor precisión diagnóstica en la primera consulta

Esta divergencia en los patrones de seguimiento entre ambos grupos, unida a la significación estadística de los resultados, apoya firmemente la efectividad de la intervención para reducir las citas de bajo valor en el sistema sanitario.

Tabla 11. Recopilación datos de significancia estadística y tamaño del efecto entre grupos con y sin intervención automatizada. Fuente: Álvaro de la Parra et al., 2024

Variable Analizada	Grupo Intervención	Grupo Control	Tamaño del Efecto (IC 95%)	Significancia Estadística (p-valor)	Interpretación
Tasas de resolución diagnóstica en primera consulta	Incremento del 1,7% en diagnóstico y plan terapéutico completo.	Tasas estables, sin variaciones significativas.	1,7% (IC 95%: 0,5% a 2,9%)	p=0,005	Efecto pequeño pero significativo. La automatización mejora la eficiencia diagnóstica.
Tasas de inasistencia a consultas	Disminución del 0,4% en no asistencia.	Tendencia decreciente, pero sin cambio significativo. Tasas más altas.	-0,4% (IC 95%: -0,1% a -0,8%)	p=0,044	Reducción modesta pero significativa. Menos ausencias por optimización previa.
Índice de seguimiento hasta primera cita	Tendencia a la baja (no significativa).	Aumento significativo de 0,25 (peor desempeño).	No significativo (IC no reportado)	Intervención: NS Control: p=0,007	La intervención consigue efecto protector, evitando el aumento en seguimiento innecesario.

8. Capítulo VIII: Conclusiones

Este trabajo cuantifica en números el valor estratégico de la Inteligencia Artificial como evolución de la transformación digital en el ámbito sanitario. A través del análisis del modelo implementado en los hospitales de Quirónsalud en Madrid, se constata que la integración de la IA en los procesos asistenciales es una solución para abordar los principales desafíos de los sistemas de salud actuales.

Los resultados avalan que la automatización de procesos, como el establecimiento de vías clínicas estandarizadas, combinada con técnicas de IA, como el procesamiento del lenguaje natural, generan mejoras sustanciales en la eficiencia del sistema. Entre ellas destacan la optimización del flujo de pacientes y la reducción de la variabilidad en la práctica clínica, mejorando así la capacidad resolutive en la primera consulta, lo que tiene implicaciones directas en la experiencia del paciente y en la gestión de recursos.

La estandarización y la reducción significativa de tiempos de espera, la disminución de consultas redundantes y de ausencias en citas programadas, confirman el potencial de estas tecnologías para optimizar la asignación de recursos y mejorar la calidad asistencial. Estas mejoras son especialmente relevantes en el contexto sanitario actual, donde se requieren soluciones escalables que permitan hacer frente al incremento de la demanda con recursos limitados.

La prevalencia de las enfermedades crónicas analizadas en este trabajo evidencia la necesidad de desarrollar modelos sanitarios que implementen este tipo de tecnologías y de extender las herramientas ya existentes a otras especialidades médicas y contextos asistenciales, con el objetivo de superar las limitaciones de los sistemas tradicionales. El ejemplo de Quirónsalud demuestra que es posible la integración de la IA en la práctica clínica habitual y que su desarrollo puede beneficiar a pacientes y a profesionales sanitarios, al mismo tiempo que mejora los resultados empresariales.

9. Bibliografía

1. Álvaro de la Parra, J. A., del Olmo Rodríguez, M., Caramés Sánchez, C., Blanco, Á., Plano, B., Mayoralas-Alises, S., Fernández-Ferro, J., Calvo, E., Gómez Martín, Ó., Fernández Tabera, J., Plaza Norales, C., Nieto, C., & Short Apellaniz, J. (2024). Effect of an algorithm for automatic placing of standardised test order sets on low-value appointments and attendance rates at four Spanish teaching hospitals: An interrupted time series analysis. *BMJ Open*, 14, e081158. <https://doi.org/10.1136/bmjopen-2023-081158>
2. Araújo-de Carvalho, Eloísa, Tércio-das Neves Júnior, Tarcísio, Alves-Nogueira, Isadora Lorena, de Assis-Silva, Carlos Jordão, Rêgo-de Queiroz, Ana Angélica, & Paiva-de Menezes, Rejane Maria. (2022). Autocuidado de usuarios con enfermedades crónicas en la atención primaria a la luz de la teoría de Orem. *Enfermería Global*, 21(68), 172-215. Epub 28 de noviembre de 2022. <https://dx.doi.org/10.6018/eglobal.508511>
3. Boston Consulting Group. (2025). Código para clasificación de vías clínicas de EPOC [Código de software]. Quirónsalud.
4. Bozkurt, B., Ahmad, T., Alexander, K. M., Baker, W. L., Bosak, K., Breathett, K., Fonarow, G. C., Heidenreich, P., Ho, J. E., Hsich, E., Ibrahim, N. E., Jones, L. M., Khan, S. S., Khazanie, P., Koelling, T., Krumholz, H. M., Khush, K. K., Lee, C., Morris, A. A., Page, R. L. 2nd, Pandey, A., Piano, M. R., Stehlik, J., Stevenson, L. W., Teerlink, J. R., Vaduganathan, M., Ziaeian, B., & Writing Committee Members. (2023). Heart Failure Epidemiology and Outcomes Statistics: A Report of the Heart Failure Society of America. *Journal of Cardiac Failure*, 29(10), 1412-1451. <https://doi.org/10.1016/j.cardfail.2023.07.006>

5. Chaddad, Ahmad, Katib, Yousef, & Hassan, Lama. (2022). Future Artificial Intelligence tools and perspectives in medicine. *arXiv*, 2206.03289. Epub 4 de junio de 2022. <https://doi.org/10.48550/arXiv.2206.03289>
6. Consejo General de Colegios Oficiales de Médicos. (2022). Código de Deontología Médica. <https://www.cgcom.es/sites/main/files/minisite/static/a8774a7d-9930-469e-8753-eb9e51d29318/codigodeontologia/index.html>
7. Dorado-Díaz, P. I., Sampedro-Gómez, J., Vicente-Palacios, V., & Sánchez, P. L. (2019). Aplicaciones de la inteligencia artificial en cardiología: el futuro ya está aquí. *Revista Española de Cardiología*, 72(12), 1065-1075. <https://doi.org/10.1016/j.recesp.2019.05.016>
8. ElSayed, N. A., Aleppo, G., Aroda, V. R., Bannuru, R. R., Brown, F. M., Bruemmer, D., Collins, B. S., Gaglia, J. L., Hilliard, M. E., Isaacs, D., Johnson, E. L., Kahan, S., Khunti, K., Leon, J., Lyons, S. K., Perry, M. L., Prahalad, P., Pratley, R. E., Seley, J. J., Stanton, R. C., Gabbay, R. A., & American Diabetes Association. (2023). Classification and diagnosis of diabetes: Standards of care in diabetes—2023. *Diabetes Care*, 46(Supplement_1), S19–S40. <https://doi.org/10.2337/dc23-S002>
9. European Union. (2016). Regulation (EU) 2016/679 of the European Parliament and of the Council of 27 April 2016 on the protection of natural persons with regard to the processing of personal data and on the free movement of such data (General Data Protection Regulation). *Official Journal of the European Union*, L 119, 1–88. <https://gdpr-info.eu/>

10. Farrell, L. A., O'Rourke, M. B., Padula, M. P., Souza-Fonseca-Guimaraes, F., Caramori, G., Wark, P. A. B., Dharmage, S. C., & Hansbro, P. M. (2024). The current molecular and cellular landscape of chronic obstructive pulmonary disease (COPD): A review of therapies and efforts towards personalized treatment. *Proteomes*, 12(3), 23. <https://doi.org/10.3390/proteomes12030023>
11. Feng, Y., Wang, Y., Zeng, C., & Mao, H. (2021). Artificial Intelligence and Machine Learning in Chronic Airway Diseases: Focus on Asthma and Chronic Obstructive Pulmonary Disease. *International Journal of Medical Sciences*, 18(13), 2871-2889. <https://doi.org/10.7150/ijms.58191>
12. Gobierno de España. (2002). Ley 41/2002, de 14 de noviembre, básica reguladora de la autonomía del paciente y de derechos y obligaciones en materia de información y documentación clínica. *Boletín Oficial del Estado*, 274, 40126-40132. <https://www.boe.es/buscar/act.php?id=BOE-A-2002-22188>
13. Gobierno de España. (2003). Ley 44/2003, de 21 de noviembre, de ordenación de las profesiones sanitarias. *Boletín Oficial del Estado*, 280, 41425-41443. <https://www.boe.es/buscar/act.php?id=BOE-A-2003-21340>
14. Gobierno de España. (2018). Ley Orgánica 3/2018, de 5 de diciembre, de Protección de Datos Personales y garantía de los derechos digitales. *Boletín Oficial del Estado*, 294, 119788–119857. <https://www.boe.es/buscar/act.php?id=BOE-A-2018-16673>
15. Gobierno de España. (2023). Real Decreto 729/2023, de 22 de agosto, por el que se crea la Agencia Española de Supervisión de la Inteligencia Artificial (AESIA). *Boletín Oficial del Estado*, 202, 78945-78968. <https://www.boe.es/buscar/act.php?id=BOE-A-2023-18911>

16. Gómez-González, Emilio, Gómez, Emilia, Márquez-Rivas, Javier, Guerrero-Claro, Manuel, Fernández-Lizaranzu, Isabel, Relimpio-López, María Isabel, Dorado, Manuel E., Mayorga-Buiza, María José, Izquierdo-Ayuso, Guillermo, & Capitán-Morales, Luis. (2020). Artificial intelligence in medicine and healthcare: a review and classification of current and near-future applications and their ethical and social impact. *arXiv*, 2001.09778. Epub 6 de febrero de 2020. <https://doi.org/10.48550/arXiv.2001.09778>
17. Glyde, HMG, Morgan, C., Wilkinson, TMA, Nabney, IT, & Dodd, JW. (2024). Remote Patient Monitoring and Machine Learning in Acute Exacerbations of Chronic Obstructive Pulmonary Disease: Dual Systematic Literature Review and Narrative Synthesis. *Journal of Medical Internet Research*, 26, e52143. <https://doi.org/10.2196/52143>
18. Hassan, M., Kushniruk, A., & Borycki, E. (2024). Barriers to and Facilitators of Artificial Intelligence Adoption in Health Care: Scoping Review. *JMIR Human Factors*, 11, e48633. <https://doi.org/10.2196/48633>
19. Heidenreich, P. A., Bozkurt, B., Aguilar, D., Allen, L. A., Byun, J. J., Colvin, M. M., Deswal, A., Drazner, M. H., Dunlay, S. M., Evers, L. R., Fang, J. C., Fedson, S. E., Fonarow, G. C., Hayek, S. S., Hernandez, A. F., Khazanie, P., Kittleson, M. M., Lee, C. S., Link, M. S., ... Yancy, C. W. (2022). 2022 AHA/ACC/HFSA guideline for the management of heart failure: A report of the American College of Cardiology/American Heart Association Joint Committee on Clinical Practice Guidelines. *Circulation*, 145(18). <https://doi.org/10.1161/CIR.0000000000001063>

20. Khan, K. S., Jawaid, S., Memon, U. A., Perera, T., Khan, U., Farwa, U. E., Jindal, U., Afzal, M. S., Razzaq, W., Abdin, Z. U., & Khawaja, U. A. (2023). Management of chronic obstructive pulmonary disease (COPD) exacerbations in hospitalized patients from admission to discharge: A comprehensive review of therapeutic interventions. *Cureus*, 15(8), e43694. <https://doi.org/10.7759/cureus.43694>
21. Khokhar, P. B., Gravino, C., & Palomba, F. (2024). Advances in artificial intelligence for diabetes prediction: Insights from a systematic literature review. *arXiv*. <https://doi.org/10.48550/arXiv.2412.14736>
22. Kulkarni, P., Mahadevappa, M., & Chilakamarri, S. (2022). The Emergence of Artificial Intelligence in Cardiology: Current and Future Applications. *Current Cardiology Reviews*, 18(3), e191121198124. <https://doi.org/10.2174/1573403X17666211119102220>
23. Latt, P. M., Soe, N. N., Xu, X., Ong, J. J., Chow, E. P. F., Fairley, C. K., & Zhang, L. (2024). Identifying individuals at high risk for HIV and sexually transmitted infections with an artificial intelligence-based risk assessment tool. *Open Forum Infectious Diseases*, 11(3), ofae011. <https://doi.org/10.1093/ofid/ofae011>
24. Le, Thanh-Dung, Noumeir, Rita, Rambaud, Jerome, Sans, Guillaume, & Jouvett, Philippe. (2021). Machine Learning Based on Natural Language Processing to Detect Cardiac Failure in Clinical Narratives. *arXiv*, 2104.03934. Epub 8 de abril de 2021. <https://doi.org/10.48550/arXiv.2104.03934>
25. Ley 6/2009, de 16 de noviembre, de Libertad de Elección en la Sanidad de la Comunidad de Madrid. Boletín Oficial de la Comunidad de Madrid, núm. 274, 18 de noviembre de 2009. Boletín Oficial del Estado, núm. 37, 11 de febrero de 2010. <https://www.boe.es/buscar/pdf/2010/BOE-A-2010-2187-consolidado.pdf>

26. Loncaric, F., Camara, O., Piella, G., & Bijmens, B. (2021). La integración de la inteligencia artificial en el abordaje clínico del paciente: enfoque en la imagen cardiaca. *Revista Española de Cardiología*, 74(1), 72-80.
<https://doi.org/10.1016/j.recesp.2020.07.012>
27. Manzini, E., Garrido-Aguirre, J., & Perera-Lluna, A. (2022). El papel de la inteligencia artificial en el tratamiento de la diabetes: promesas y realidad. *Sociedad Española de Diabetes*.
<https://www.revistadiabetes.org/tecnologia/el-papel-de-la-inteligencia-artificial-en-el-tratamiento-de-la-diabetes-promesas-y-realidad/>
28. Mohsen, F., Al-Absi, H. R. H., Yousri, N. A., El Hajj, N., & Shah, Z. (2023). Artificial intelligence-based methods for precision medicine: Diabetes risk prediction. *arXiv*.
<https://doi.org/10.48550/arXiv.2305.16346>
29. Naciones Unidas. (s.f.). Objetivos de Desarrollo Sostenible.
<https://www.un.org/sustainabledevelopment/es/development-agenda/>
30. Organización Mundial de la Salud. (2023). Estadísticas del VIH, a nivel mundial y por región de la OMS, 2023. *Organización Mundial de la Salud*. Epub 14 de noviembre de 2023.
<https://cdn.who.int/media/docs/default-source/hq-hiv-hepatitis-and-stis-library/j0294-who-hiv-epi-factsheet-v7.pdf>
31. Quirónsalud, Dirección General Corporativa. (2023). Protocolos de pruebas para la preparación de la 1ª Consulta Especialidad: Catálogo Corporativo [Documento técnico interno].
32. Quirónsalud, UICO. (2022). Estandarización de trayectorias asistenciales a través de Vías Clínicas o Planes de Citas [Informe técnico interno]. *Unidad de Innovación Clínica y Organizativa*.

33. Roche, S. D., Ekwunife, O. I., Mendonca, R., Kwach, B., Omollo, V., Zhang, S., Ongwen, P., Hattery, D., Smedinghoff, S., Morris, S., Were, D., Rech, D., Bukusi, E. A., & Ortblad, K. F. (2024). Measuring the performance of computer vision artificial intelligence to interpret images of HIV self-testing results. *Frontiers in Public Health*, 12, 1334881. <https://doi.org/10.3389/fpubh.2024.1334881>
34. Rodríguez, M. del O., Córdoba, R., Gómez-Meana, A., Herrero González, A., Pascual Martínez, A., Cabello Úbeda, A., Short Apellaniz, J., & Arcos, J. (2023). Implementing a Broad Digital Framework to Drive Network Strategy Through PROMs and PREMs. *NEJM Catalyst Innovations in Care Delivery*, 4(8). <https://doi.org/10.1056/CAT.23.0083>
35. Rosano, G. M. C., Seferovic, P., Savarese, G., Spoletini, I., Lopatin, Y., Gustafsson, F., Bayes-Genis, A., Jaarsma, T., Abdelhamid, M., Miqueo, A. G., Piepoli, M., Tocchetti, C. G., Ristić, A. D., Jankowska, E., Moura, B., Hill, L., Filippatos, G., Metra, M., Milicic, D., ... Coats, A. J. S. (2022). Impact analysis of heart failure across European countries: An ESC-HFA position paper. *ESC Heart Failure*, 9(5), 2767–2778. <https://doi.org/10.1002/ehf2.14076>
36. Stolz, D., Mkorombindo, T., Schumann, D. M., Agusti, A., Ash, S. Y., Bafadhel, M., Bai, C., Chalmers, J. D., Criner, G. J., Dharmage, S. C., Franssen, F. M. E., Frey, U., Han, M., Hansel, N. N., Hawkins, N. M., Kalhan, R., Konigshoff, M., Ko, F. W., Parekh, T. M., ... Dransfield, M. T. (2022). Towards the elimination of chronic obstructive pulmonary disease: a Lancet Commission. *The Lancet*, 400(10356), 921–972. [https://doi.org/10.1016/S0140-6736\(22\)01273-9](https://doi.org/10.1016/S0140-6736(22)01273-9)

37. Sun, H., Saeedi, P., Karuranga, S., Pinkepank, M., Ogurtsova, K., Duncan, B. B., Stein, C., Basit, A., Chan, J. C. N., Mbanya, J. C., Pavkov, M. E., Ramachandaran, A., Wild, S. H., James, S., Herman, W. H., Zhang, P., Bommer, C., Kuo, S., Boyko, E. J., & Magliano, D. J. (2022). IDF Diabetes Atlas: Global, regional and country-level diabetes prevalence estimates for 2021 and projections for 2045. *Diabetes Research and Clinical Practice*, 183, 109119. <https://doi.org/10.1016/j.diabres.2021.109119>
38. Swinkels, H. M., Justiz Vaillant, A. A., Nguyen, A. D., & Gulick, P. G. (2024). HIV and AIDS. En *StatPearls*. StatPearls Publishing. <https://www.ncbi.nlm.nih.gov/books/NBK534860/>
39. Tarumi, S., Takeuchi, W., Chalkidis, G., Rodriguez-Loya, S., Kuwata, J., Flynn, M., Turner, K. M., Sakaguchi, F. H., Weir, C., Kramer, H., Shields, D. E., Warner, P. B., Kukhareva, P., Ban, H., & Kawamoto, K. (2021). Leveraging Artificial Intelligence to Improve Chronic Disease Care: Methods and Application to Pharmacotherapy Decision Support for Type-2 Diabetes Mellitus. *Methods of information in medicine*, 60(S 01), e32–e43. <https://doi.org/10.1055/s-0041-1728757>
40. Unión Europea. (2024). Reglamento (UE) 2024/1689 del Parlamento Europeo y del Consejo, de 14 de junio de 2024, por el que se establecen normas armonizadas en materia de inteligencia artificial (Ley de Inteligencia Artificial). *Diario Oficial de la Unión Europea*, L 2024/1689. <https://www.boe.es/buscar/doc.php?id=DOUE-L-2024-81079>
41. Universidad de Chile. (2022). Inteligencia artificial desarrollada en Chile permite predecir adherencia a tratamientos contra el VIH. *Noticias Universidad de Chile*. <https://portaluchile.uchile.cl/noticias/187403/inteligencia-artificial-predice-adherencia-a-tratamiento-contr-el-vih>

42. U.S. Department of Health & Human Services. (1996). *The Health Insurance Portability and Accountability Act of 1996 (HIPAA)*. ASPE. <https://aspe.hhs.gov/reports/health-insurance-portability-accountability-act-1996>
43. World Health Organization. (2024, November 14). *Diabetes*. <https://www.who.int/news-room/fact-sheets/detail/diabetes>
44. World Medical Association. (2018). WMA International Code of Medical Ethics. <https://www.wma.net/policies-post/wma-international-code-of-medical-ethics/>
45. Wu, Y., Xia, S., Liang, Z., Chen, R., & Qi, S. (2024). Artificial intelligence in COPD CT images: Identification, staging, and quantitation. *Respiratory Research*, 25(1), 319. <https://doi.org/10.1186/s12931-024-02913-z>

10. Anexos

CASO MEDICINA INTERNA - VIH (Enfermedades Infecciosas)

Transcripción

¿Cómo estás? Ahí vamos, tirando. Bueno, desde que no nos vemos, ¿alguna novedad? Pues así, bueno... Lo más llamativo, bueno... Quería poder volver de marzo con un acceso. Me ve el jueves el cirujano, en el culete. Vale, vamos a empezar a repasar los antecedentes. ¿Alergias a algo? Sí, al polen y a las gramíneas. ¿Tabaco? No. ¿Alcohol? Tampoco. Vale, ¿algún dispositivo implantable? No. ¿hipertensión? Tampoco. ¿Algún antecedente familiar? Pues mi abuela murió por cáncer de mama. Vale, lo siento. ¿Cuanto pesas? Estoy en 99 kilos ¿y cuanto mides? Pues sigo midiendo uno noventa. Vale, pues esto listo. Vamos a seguir. ¿Tomas un antibiótico? Sí. Está supurando. ¿Qué antibiótico estás tomando? Augmentine. ¿Cuánto? Una semana ya. Te lo tendrán que sanear, seguramente en quirófano. Cuando es perianal, duele mucho. Y porque no está cerca del esfínter, ¿no? Un poquito más arriba y todavía no sabemos de dónde viene. Es el trayecto fistuloso, que viene de... Sabes que muchas veces lo que tenemos es una superación, pero es que a lo mejor hay un trayecto fistuloso. Puede ser más interno, ¿no? Claro, está drenando ahí. Entonces sí que puede tener relación con el ano o con el esfínter. Aunque se manifiesta por fuera, te lo puedes traer. Vale. ¿Sabes por qué me dices...? Pues la primera cita que llegaba así de a día, digo... Y digo, bueno, voy a ir al médico, ya me dio aquello... Estaba tratando un poquito con betadine para evitar... Pero bueno, es lo que hay ahí. Muy bien. Tengo aquí la analítica del 20 de febrero. El hemograma es normal. La coagulación normal. Los CD4 están en 1275. Glucosa 102, muy bien. Creatinina 0,9, muy bien. Iones normales. La hemoglobina glicosilada, que habla del azúcar, 5,16, muy bien. Transaminasas normales. Hierro, o sea, la ferritina en 121. Colesterol 177, increíble. Con LDL en 112, muy bien. Trabajaba con respecto a eso. Me tomé el oxicol un tiempo. Luego he cambiado por uno del LIDER. Fantástico. Este trae cilantro, el otro trae algo del olivo. Vamos a probarlo. Está funcionando perfectamente. Ha bajado un montón. PSA 1,3, muy bien. El PSA 0,8. Las vitaminas, perfectas. La revisión que me hizo el traumatólogo me sacó la vitamina D y me mandó el DELTIUS. Perfecto. Me lo he tomado ya dos tomas. Me faltan otros dos meses. En febrero, me lo he tomado en febrero y marzo y me falta... Después tenemos la hemorragia oculta en F, en negativo, y la carga viral todavía no está. La carga viral VIH, esa, va a tener que estar pendiente. Y si está o cero... Pasó lo mismo en septiembre, cuando vine la muestra me tuvo que hacer una analítica porque esa vez... A veces... Me ha pasado mucho, la verdad. Bueno, mucho. Algunas veces. Y una vez porque se derramó la muestra. Otra vez porque no había muestra suficiente. Y no sé yo si seguir esperando... No lo sé. Te puede pasar ahora, eh. La última vez me tuvo ahí... Lo hizo usted el volante... No, es la forma. Si no te la... Ellos no hacen falta el volante, te lo hacen directamente. Sí, porque ven que queda pendiente. Si no está, pues que ellos te lo metan, ¿vale? Y si está alterado, pues viene y lo dice. Sí, vamos, yo la última vez lo hice y como vi que estaba en negativo, pues como siempre, bueno, en negativo. En menos de 20. Pues está magnífico, eh. Magnífico todo. Eso es mérito tuyo, no hay otra cosa. Bueno, como siempre vivo una mala salud de hierro. Porque siempre me... Siempre hay momentos entretenidos. O mi problema de atroces, que no me gusta. Pero bueno, al final... Sí. Fue una mala salud de hierro, pero bueno, sólo... Sí, sí. Vale, pues nada, vamos a pedir una revisión en 6 meses para ver como vas, ya te aparece en la plataforma. Vale. Muchas gracias!

Respuesta de la IA

Antecedentes

Indicador	Respuesta IA
Alergias	Sí
¿Fuma o ha sido fumador?	No
Peso Actual [Kg]	99
Talla [cm]	190
Dispositivos Implantables	No
HTA	No
Antecedentes Familiares	Abuela: cáncer de mama
Medicación Habitual	DELTIVUS (Vitamina D, 2 tomas completadas)

Prescripciones

Fármacos devueltos
DELTIVUS 2,5 ML

Peticiones

Peticiones devueltas	
CONSULTA SUCESIVA (0002) - MEDICINA INTERNA GENERAL	
Información adicional	
Prioridad	Rev. 6 meses
Razón	Revisión de seguimiento para evaluar el estado de salud del paciente y monitorear cualquier cambio en su condición.

Formulario de consulta

Motivo de consulta (lista)

Infecciosas- Otros.

Motivo de consulta (texto)

Consulta por trayecto fistuloso perianal con drenaje activo.

Anamnesis

Refiere trayecto fistuloso perianal con drenaje activo. Tratamiento con antibiótico AMC durante una semana. Antecedente de infección asintomática por VIH. Tratamiento previo con Oxicol y actual con suplemento no especificado que contiene cilantro y olivo. Suplementación con vitamina D iniciada en febrero y marzo, pendiente por dos meses más.

Pruebas complementarias

Analítica (20/02/2024): Hemograma normal, coagulación normal, CD4 1275, glucosa 102 mg/dL, creatinina 0,9 mg/dL, iones normales, hemoglobina glicosilada 5,16%, transaminasas normales, ferritina 121 ng/mL, colesterol total 177 mg/dL con LDL de 112 mg/dL, PSA 1.3 ng/mL.

Diagnóstico 1

Infección asintomática por VIH.

Diagnóstico 2

Fístula anal.

Juicio clínico

Infección asintomática por VIH.

Fístula anal con trayecto fistuloso perianal.

Tratamiento

Continuación de tratamiento antibiótico con AMC. Suplementación con vitamina D.

Plan y recomendaciones

Se solicita una revisión con medicina interna en 6 meses. Mantener seguimiento de la carga viral VIH y revisión del absceso perianal por cirugía.

Alta

No .

CASO ENDOCRINO - Diabetes (Endocrinología)

Diagnóstico previo devuelto por el sistema

- Diabetes - Diabetes tipo 1

Tratamiento actual devuelto por el sistema:

- Enalapril a 20 mg cada 12h.
- Labetalol 100 mg cada 24 - por la noche.
- Isulina Abasaglar 0-0-4 unidades en cena. Deberá ajustar dosis en función de cifras de glucemia capilar en ayunas. Si cifras mayores de 140 durante 3 días consecutivos aumentar 2 unidades.
- Insulina NovoRapid antes de las comidas en función de controles de glucemia capilar. Si cifras menores de 150: no poner; 151-200: 1 unidades; 201-250: 2 unidades; 251-300: 3 unidades; 301-350: 4 unidades.
- Eutirox 88 mcg un comprimido diariamente.
- Ferroglicina sulfato 100mg: 1 cápsula cada 24 horas con zumo de naranja en ayunas.
- Ácido fólico 5mg: 1 comprimido cada 24 horas con el desayuno.

Transcripción

Bueno, vienes a la revisión de la diabetes. Doctor, ¿dónde estoy? No estás tan mal, ahora te ayudo a controlarte. ¿Me toca reposo? ¿Por qué no? Pues me toca, ¿qué le vamos a hacer? Vamos a empezar con los antecedentes ¿Es fumadora habitual? No ¿tiene alergias? No ¿Bebe alcohol normalmente? No, tampoco ¿Cuánto pesa? Pues peso 85 kilos ¿Y mide? Unos setenta y nueve. Vale, pues a ver ¿Estás dando lactancia? Mixta. ¿Cuánto te estás poniendo ahora de insulina? ¿Te bajó un montón para que no tuvieras la colindemia? No, pero estoy así. Ya, ahora te estás poniendo 5 de la lenta, ¿sí? 5, y de la rápida, ¿cuánto te estás poniendo? Lo tengo apuntado en la nevera, cuando se me sube, así mismo hoy me la pongo. ¿Como yo te puse en la última consulta? Sí. Es que estamos desayunando, porque tomo glucana. Dos en desayuno, dos en comida y uno en la cena. Vale, el eutirox lo quitaste, ¿verdad? Sí. Y luego estás con enalapril cada 12, la betalol, hierro y ácido fólico. Nada más. En las mañanas con jugo de naranja, el hierro y el ácido fólico. ¿Jugo de naranja? Sí, así me lo mandó el hematólogo. ¿Te sube mucho la bruja? Claro. ¿Cuánto jugo de naranja te metes? ¿Medio vasito? Bueno, pues venga, ala, tira con eso. Porque me dijo que no lo podía mezclar con el café en leche, ni con leche, ni nada de esas cosas. ¿A qué hora estás comiendo? Depende de la hora que me deje comer este niño. ¿Y el desayuno? Sí, tipo 10, 10 y algo, cuando me levanto con él. Te sube un poquito en el desayuno, ¿verdad? Ahí es donde más alta te quedas. Y a veces después de comer. ¿Se te olvida alguna dosis de insulina antes de comer? A veces sí, porque estoy aprendiendo a manejar el niño, mi tiempo, mis comidas y las comidas de él. Entonces, por eso creo que estoy en el sube y baja todo el tiempo. La rápida que utilizas, ¿cómo se llama? La vas a argular en la lengua, plano o rápido. ¿Te puedo poner una más rápida? ¿Tú cuando comes, comes rápido? Sí. ¿Alguna vez dejas de comer en mitad de la comida? Sí. ¿Por el bebé? Sí, me toca, es que casi siempre me toca hacer pausas porque se levanta él a llorar. Estoy pensando en ponerle FIAS, pero después de la comida. Ya te estoy diciendo, que se te va a dejar de comer a mitad de comer. Y además el FIAS nos permite que, si come rápido, se lo pinche después de comer. Que a veces me toca hacer muchas pausas con él. Lo dan para los peques, los pediátricos que no saben lo que van a comer de ración. Eso es

ultra rápida. Bueno, pues intenta acordarte de pincharte antes de comer, la ronda más rápida. No te la voy a cambiar porque es un riesgo. Doctor, una pregunta. El palmólogo me dijo que con el corticoide o esas cosas que me van a pinchar el 27, no le puedo seguir dando peso al niño. ¿Verdad? Eso es lo que no te haya dicho. No te lo sé decir. Pero te lo ha dicho dudando... Es que si lo das por boca, lo elimina... Es que no se puede tomar. Si lo tomas por boca el corticoide, lo eliminas por la leche. No, no lo tomo. Son unos pinchazos en el ojo. Entonces en principio... No lo sé, es que lo mío no es un corticoide. Es que lo mío no es un antiproliferativo. Pues nada, a ver, los ojos los tienes peor, ¿no? Sí, él me dijo que sí, estaba muy mal de los ojos. Pues tienes que valorar. Lo bueno que tienes es que come lactancia artificial. Pues lo mismo, si es mejor para el pronóstico de tus ojos dejar de darle tú, déjalo. Antes de que te empiecen a pinchar eso, si te sobra leche la puedes guardar. Y luego nada más que quieras. Pero eso... que en la diabetes en el embarazo que podía pasar esto, entonces yo de ti con la suerte que tienes de que sabe comer del biberón quítatela que te pinchen lo que necesiten que te intenten pararlo de los ojos. Entonces mira yo del control veo que te falta un pelín en el desayuno y un pelín en la comida la lenta está muy bien puesta la vamos a dejar igual y luego hay una variabilidad que tiene que ver probablemente pues lo de pues no me la pincho porque se me ha olvidado tal no sé qué luego me la pincho con esto muy alto y de abajo eso tienes que intentar hacer un esfuerzo porque no pase, ¿vale? por lo demás ¿qué tal? ¿la tensión bien? Sí, alta pero bien. Pero lo que pasa es que no sé si es sinusitis, rinitis, que tengo un sácleme, me duele mucho esto y la cabeza tengo un dolor de cabeza y esto aquí me duele, me hace que no me soporto el dolor es que no me lo soporto. ¿Este dolor de cabeza es nuevo? ahora que me empieza a doler todo esto aquí me duele todo esto. ¿Has tenido fiebre? ¿Toses? Poco, pero ya la Jana me hizo los controles y con el problema de los pulmones y eso no tengo nada de eso es el dolor aquí me duele todo esto. ¿Moqueas? Pues tiene que estar teniendo sinusitis, ¿no? Y es que aquí donde estoy tengo un dolor de cabeza. ¿Tienes que llevar tu cabecera para que te lo mire y te ponga tratamiento? Pero pídetela cita con ella, hay que poner algún antibiótico. Me tomo dos paracetamol y no se me quita el dolor de cabeza. Porque el paracetamol te va a calmar, pero no te va a solucionar. Si tienes hay monco acumulado con bicho, con bacteria, sin antibiótico no se va a curar. Pídetela a un médico de cabecera que echarte un vistazo, ponerte el antibiótico, revisarte después para ver si ha acertado o no ha acertado y luego ya ver. Vale. Vale, oye, cuando dejes de dar lactancia, dímelo para que te ponga también el tratamiento para el colesterol. Doctor, lo de la tiroides, no sé, es que me siento como una... Me contaste que tu madre, ¿no? Sí, ella me contaste. Falleció de cárcel de tiroides a los 70 años. La cárcel del cuello, o sea, no te he hecho nunca, ¿no? Vale, te voy a tocar. A ver, ¿qué me están llamando ahí? ¿Esto es fuera? Claro, si está aplastado. Está aplastadísimo, aplastadísimo. ¿Te has tocado algo? ¿Claro? Gracias. Te toca todo bien, ¿vale? Te voy a pedir una copa que te quede tranquila, pero... Doctor, la quería pedir otro favor. Es que había quedado de llamarme para ver los resultados de una muestra, de un ensamble que yo le traje de orina. Y últimamente siento que el riñón izquierdo me ha estado como... como que me arde, me duele, tengo que hacer mucha fuerza para orinar. Orino y paro y vuelvo otra vez. Orino, paro y vuelvo otra vez. Entonces no sé cómo me haya salido el examen. Pero eso tiene pinta de ser de una urinaria mujer. No de que no funciona el riñón. Entonces ella quería llamarme para ver los resultados, pero... ¿De la analítica de febrero? Sí. A ver... El 2 de... el 17. A ver... Igual que la cultiva, ¿no? Puro cultivo, el 25 de enero. Puro cultivo. Sí, pues el 25 de enero, claro. Sí, luego otro del 27. Arriba pues otro. El 17 de febrero, cultivo. Sí, este es el de aquí, pero... no tiene infección. Es que ella tiene un síndrome nefrótico. También por la nefropatía diabética, ¿sabes? Mira, orina negativa. Vale, no tiene síndrome. No tenía infección de orina. Vale. Entonces, los cambios son que la insulina rápida del desayuno y de la comida la subes una unidad. La de la cena la dejas igual. La lenta la dejas igual. Y te lanzo yala cita para dentro de un año para que estemos en contacto. Vale. A la que vienes, si resulta que ya has dejado la lactancia, me lo dice ella y te reinicio el tratamiento para el colesterol. Porque lo tienes muy alto. No se puede utilizar la lactancia, pero en cuanto la dejes, sí. Y lo de las síntomas que parecen una sinusitis de al médico de cabecera que te pongan antibiótico o algo? Uy, es que no me aguanto el dolor así. Pues quedamos en eso, ¿vale? Vale doctor. ¿Le quería hacer una pregunta para este pinchazo de los ojos, yo no puedo pedir una anestesia general? Ay, por mi que me duerman y que me pinchan los ojos. Pero a mi son más peligrosos de anestesiarte que pincharte el ojo. Ay, no, no, no, es que a mi, eso para mi es una tortura. Ya, no es nada cómodo. Por mi, yo hubiera preferido esperar hasta el día que me van a hacer lo de la cirugía de las trompas y que me pinche la anestesia. Pero a mi no te tienen que pinchar eso cada mes? No puede ser. ¿Cómo te van a anestesiarte cada vez que te dan? Hombre, no. Ay, no. Que los ojos tenemos dos y no hay cambio. Y luego es pensar lo peor que lo hago en el momento y no es para tanto. No lo pienses hasta ese momento. No es tan deficiente que me tocan los ojos. Vale, pues te revisamos

Respuesta de la IA

Antecedentes

Indicador	Respuesta IA
Alergias	No
¿Fuma o ha sido fumador?	No
¿Consume habitualmente bebidas alcohólicas?	No
Peso Actual [kg]	85
Talla [cm]	179
Diabetes	Sí
HTA	Sí
Antecedentes Familiares	Madre: cáncer de tiroides a los 70 años.
Medicación Habitual	Enalapril 20 mg (Cada 12 horas). Labetalol 100 mg (Noche: 1 comprimido). Insulina Abasaglar 0-0-5 unidades (Cena). Insulina NovoRapid (Antes de las comidas según glucemia capilar). Ferroglucina sulfato 100 mg (Mañana: 1 cápsula con zumo de naranja). Ácido fólico 5 mg (Desayuno: 1 comprimido).

Prescripciones

Fármacos devueltos
ENALAPRIL 12 MG
LABETALOL 10 MG COMP

Peticiones

Peticiones devueltas	
REVISION ENDOCRINOLOGIA – C	
CONTROL DIABETES	
Prioridad	Rev. 12 meses
Razón	Seguimiento de diabetes y ajuste de insulina.

Formulario de consulta

Motivo consulta (lista)

Diabetes - Diabetes tipo 1.

Motivo consulta (texto)

Revisión de control de diabetes tipo 1 en contexto de lactancia mixta.

Anamnesis

Paciente refiere variabilidad en el control glucémico, olvidos frecuentes de dosis de insulina rápida antes de las comidas, y dificultades para manejar el tiempo y las comidas debido a la atención al bebé. Refiere dolor y ardor en el riñón izquierdo, dificultad para orinar y necesidad de hacer fuerza para orinar. Además, presenta síntomas que sugieren sinusitis y dolor de cabeza.

Pruebas complementarias

Cultivos de orina negativos para infección.

Diagnóstico 1 (lista)

1. Diabetes - Diabetes tipo 1.

Diagnóstico (texto)

Diabetes tipo 1, control glucémico subóptimo, posible sinusitis.

Tratamiento

Insulina lenta 5 unidades (Diariamente).

Insulina rápida 2 unidades en desayuno y comida, 1 unidad en cena (Diariamente).

Enalapril 12 mg (Cada 12 horas).

Hierro y ácido fólico con zumo de naranja (Diariamente por la mañana).

Plan y Recomendaciones

Revisión en un año. Si cesa la lactancia, iniciar tratamiento para el colesterol. Consultar con médico de cabecera para evaluación y tratamiento de posible sinusitis. Considerar almacenamiento de leche materna antes de tratamiento con corticoides para los ojos.

Alta

No.

CASO CARDIOLOGÍA

Diagnóstico previo devuelto por el sistema

- INSUFICIENCIA CARDIACA (con fracción de eyección del ventrículo izquierdo recuperada).

Tratamiento Actual devuelto por el sistema:

- LIXIANA 60 MG UNO EN DESAYUNO.
- METOPROLOL 100 mg TRES CUARTOS de pastilla cada 12 horas.
- DIGOXINA 0,25 un comprimido los lunes, miércoles, viernes y domingo, el resto de los días medio comprimido.
- RAMIPRIL 5 mg un comprimido cada 12 h.
- FUROSEMIDA 40 mg un comprimido por las mañanas.
- DAPAGLIFOZINA 10 mg un comprimido por las mañanas.
- SIMVASTATINA 40 en la cena.
- Omeprazol 20 mg por las mañanas.

Transcripción

Paciente de 81 años en seguimiento por fibrilación auricular anticoagulada con lixiana bajo estrategia de control de frecuencia cardíaca. Como pruebas complementarias vamos a poner ecocardiograma transtorácico, dos puntos, entre paréntesis realizado en febrero del 25, cierre paréntesis, UVI no dilatado, espesores normales, FEVI normal 60%, ventrículo derecho no dilatado, norma funcionante, punto, insuficiencia de tricuspídea ligera con gradiente UVDAD de 36 milímetros de mercurio, punto, hebras cambios degenerativos en anillo mitral, insuficiencia ligera, punto, esclerosis de válvula aórtica con mínima insuficiencia, punto, aurículas ligeramente dilatadas, punto, ECG realizado hoy, dos puntos, fibrilación auricular a 60 latidos por minuto, punto, tendencia al bajo voltaje, punto, QRS estrecho, punto. Analítica, dos puntos, hemoglobina, 15,8, glucosa 105, creatina 0,81, filtrado glomerular 67, transaminasas e iones normales, colesterol total 169, LDL 92, HDL 51, PROBNP 2310. Por tendencia a fibrilación auricular lenta decidimos suspender digoxina. Buenos días, siéntese un poquito. Gracias. Bueno, ¿qué tal se encuentra, hija? Bueno, aquí ando. Aquí andamos, ¿no? ¿Qué tal? Vamos a empezar con los antecedes; ¿Fuma? Si. ¿Cuánto fuma? Más o menos llego a fumar unos 10 cigarrillos. ¿Bebe alcohol? No, no bebo alcohol. ¿Tiene alguna alergia? No, no tengo. ¿Cuánto mide? Sobre 1,89, ¿Cuánto pesa? 75. Ahora voy a preguntarle por sus antecedentes familiares; ¿su padre tuvo alguna enfermedad? Si, cáncer de colon, ¿y su madre? Mi madre diabetes. ¿Tiene mareos? No, lo único que tengo es que si estuviera un poquito me hubiera inflamado las manos, sobre todo. ¿Inflamación de las manos, de los dedos? De los dedos ¿Y eso se lo ha comentado el médico de cabecera? No. Porque esa hinchazón de dedos del corazón no viene. Puede ser tema de artrosis o de artritis en las articulaciones, pero no tiene que ver con el corazón. Ah, yo digo, sí, sí, vale, que tengo los dedos, así como si fueran... ¿Les duelen las articulaciones? Por ejemplo, ahora no cierro bien. Claro, pues eso sí, es bueno que se lo comente al médico de cabecera, ¿vale? Y eso ya es una solución, no para la artrosis.

Pues poca cosa, si es artrosis, poca cosa. Cuando hay inflamación de las articulaciones, pues hay que poner un antiinflamatorio, pero eso lo tienen que ver los que saben de las articulaciones y de los huesos. Bueno, mareos no notan. ¿Que esté peor de la fatiga? Tampoco. Un poquito. ¿Un poquito más? Sí, un poquito más. ¿Pero cansada o con tema de ahogo? ¿Qué es lo que manda? Cuando camina. Parece que se fatiga, pero sobre todo al caminar. Vale. Mire, hemos visto en el electro que la fibrilación auricular está bastante lentita. Eso es probablemente por la medicación que hemos puesto, que está tomando tanto metoprolol como digoxina. Cuando la arritmia está demasiado frenada, el corazón no se acelera correctamente con el esfuerzo y puede ser que nos cansemos más en ese contexto. Le vamos a quitar la digoxina. La digoxina lo vamos a quitar. Y el metoprolol está tomando, corrija me si me equivoco, tres cuartas partes de la pastilla. Sí. En el desayuno y otras tres cuartas partes de la pastilla en la cena, ¿cierto? Sí. Es que ahora me lo pone la farmacéutica y muchas veces no me acuerdo. Vale. Pues de momento el metoprolol lo dejamos. Sí, tres cuartos tomo. Pero la digoxina la quitamos. No tomo la digoxina. Quitamos la digoxina. Sí. Y el metoprolol lo vamos a dejar los tres cuartos del desayuno, pero por la noche solamente vamos a tomar 50 miligramos. ¿50 miligramos cuánto es? Medio pastilla. Entonces, lo que vamos a hacer por este ajuste de tratamiento es pedir un control con un electro por ver que la arritmia no se nos dispara en 10 o 15 días. No la voy a ver yo en la consulta, simplemente voy a ver el electro para ver que con este ajuste del tratamiento la arritmia no se nos descontrola. Si me descontrola me fatigaría más. No, lo voy a ver yo. Lo voy a ver yo con el electro si se descontrola. Lo digo que para lo mayor que es, que tiene usted ya 80 años, toma mucha medicación y ahora mismo estamos un poquito pasados de dosis. Por lo tanto, la digoxina la quitamos. Fundamental. La suspendo. La estoy cerrando aquí de la receta electrónica. Y usted en casa la quita del pastillero. Y el metoprolol, dejamos las tres cuartas partes de la pastilla en el desayuno, eso igual, pero bajamos un poquito la de la cena. A 0,5, eso. Exactamente. Vale, la voy a programar un electro más o menos en 10 o 15 días. ¿Se le hinchan las piernas? Pues un poquillo parece, sí. Un poquillo todo. Yo me lo truco y me hinchan los muslos. Estos muslos que tengo ahora, yo qué sé. Para que no se le hinchen tanto las piernas, asociada a la furosemida que ya está tomando usted, le voy a poner una pastillita nueva que se llama espironolactona, que es un diurético que va a ayudar a la furosemida que no se nos hinchen las piernas, para hacer un poquito más de pies y que no se nos hinchen las piernas en el desayuno. Yo le voy a sacar la hojita de las pastillas para que no se le hinche. Y el resto del chequeo del corazón hemos visto que ha salido bastante bien la ecografía, no tiene buena fuerza el ventrículo, las válvulas están normales y la analítica también está todo bastante bien. El colesterol y todo, sin vasatina, toma de 40. Bueno, pero con 40 está mucho mejor controlado. Y en la de 10 era un poquito floja, ¿vale? Entonces, de momento, hacemos esos ajustes del tratamiento. Le quito la divoxina, le bajo un poquito el metoprolol y le pongo otro diurético por el tema este que me comenta de los edemas en las piernas, ¿vale? De la hipatía. Sí, porque cuando tomo el Seguril, ¿cómo se llama esto? Bueno, el Seguril hace efecto, sobre todo en las dos horas después de tomarlo, después ya baja un poquito la acción, por lo tanto, tiene que tomarlo cuando vaya usted a estar en casa. El Seguril se puede tomar en el desayuno o en la comida, en función de cuando salga usted a la calle. Y la otra pastillita igual, que sale más por la mañana por la traslada a medida. Claro, si no se va orinando, ¿vale? Y le programo un electro en 15 días, ¿vale? Por ver un poquito, que al quitar la divoxina no se nos descontrola la arritmia. ¿El electro dónde me lo va a poner? ¿Dónde se lo va a hacer? Pues aquí mismo, claro. ¿Yo le pido el electro o me la dan ellos? No, no, yo pido el electro y ya se lo dan ellos la cita. Yo lo veo y si está todo bien no tiene ni noticias más, si ya hay algo importante la llamaré, ¿vale? ¿El electro me lo puedo hacer en pontones o tiene que ser en pontones? Puede ser en pontones, sí. Si le pilla mejor pontones lo pide en el mostrador, porque como lo pido yo desde Quintana, lo normal es que le quiten en Quintana, pero si lo prefiere realizar en pontones, aquí en el mostrador dice que se lo quiten en pontones, ¿de acuerdo? Y ya con ese electro programaré yo la siguiente revisión, ¿vale? De acuerdo.

Respuesta de la IA

Antecedentes

Indicador	Respuesta IA
Alergias	No
¿Fuma o ha sido fumador?	Sí
Nº de cigarrillos / día	10
¿Consume habitualmente bebidas alcohólicas?	No
Peso Actual [kg]	75
Talla [cm]	189
Antecedentes Familiares	Padre: cáncer de colon. Madre: diabetes.
Antecedentes Quirúrgicos	Sí
Antecedentes Médico Quirúrgicos	Fx codo. Cx rodilla derecha.
Tratamiento habitual	Lixiana 60 mg (Desayuno: 1 comprimido). Metoprolol 100 mg (Desayuno: 3/4 comprimido, Cena: 1/2 comprimido). Ramipril 5 mg (Cada 12 horas: 1 comprimido). Furosemida 40 mg (Desayuno: 1 comprimido). Dapagliflozina 10 mg (Desayuno: 1 comprimido). Simvastatina 40 mg (Cena: 1 comprimido). Omeprazol 20 mg (Desayuno: 1 comprimido).

Prescripciones

Fármacos devueltos
METOPROLOL 100 MG COMP
ESPIRONOLACTONA 25 MG

Peticiones

Peticiones devueltas	
Electrocardiograma basal reposo (ECG/EKG)	
SUCESIVAS RESULTADOS DE CARDIOLOGIA - C	
REVISION CARDIOLOGIA – C	
Información adicional	
Prioridad	Rev. 15 días
Razón	Control de arritmia tras ajuste de tratamiento con metoprolol y suspensión de digoxina.

Formulario de consulta

Motivo de Consulta Lista

Seguimiento de patología cardíaca.

Motivo de Consulta

Seguimiento de fibrilación auricular y ajuste de tratamiento en paciente con insuficiencia cardíaca.

Anamnesis

Paciente de 81 años en seguimiento por fibrilación auricular anticoagulada con Lixiana bajo estrategia de control de frecuencia cardíaca. Refiere no tener mareos ni otros síntomas significativos, excepto inflamación leve en los dedos, que no se relaciona con su condición cardíaca. Refiere fatiga leve al caminar.

Pruebas complementarias

Ecocardiograma transtorácico (25/02): ventrículo izquierdo no dilatado, espesores normales, fracción de eyección del ventrículo izquierdo normal (60%), ventrículo derecho no dilatado y funcionante, insuficiencia tricuspídea ligera, cambios degenerativos en anillo mitral, insuficiencia ligera, esclerosis de válvula aórtica con mínima insuficiencia, aurículas ligeramente dilatadas.

ECG (hoy): fibrilación auricular a 60 latidos por minuto, tendencia al bajo voltaje, QRS estrecho.

Analítica: hemoglobina 15,8, glucosa 105, creatinina 0,81, filtrado glomerular 67, transaminasas e iones normales, colesterol total 169, LDL 92, HDL 51, PROBNP 2310.

Diagnóstico 1

INSUFICIENCIA CARDIACA (con fracción de eyección del ventrículo izquierdo recuperada).

Diagnóstico 2

ARRITMIAS Fibrilación auricular paroxística.

Juicio clínico

Fibrilación auricular controlada con estrategia de control de frecuencia cardíaca. Insuficiencia cardíaca con fracción de eyección del ventrículo izquierdo recuperada.

Tratamiento

Suspender: Digoxina.

Ajustar: Metoprolol 100mg (Desayuno: 0,75 pastilla, Cena: 0,5 pastilla).

Añadir: Espironolactona (Desayuno: 1 pastilla).

Lista de fármacos:

Lixiana 60mg (Desayuno: 1 comprimido).

Metoprolol 100mg (Desayuno: 0,75 pastilla, Cena: 0,5 pastilla).

Ramipril 5mg (Mañana: 1 comprimido, Noche: 1 comprimido).

Furosemida 40mg (Mañana: 1 comprimido).

Dapagliflozina 10mg (Mañana: 1 comprimido).

Simvastatina 40mg (Cena: 1 comprimido).

Omeprazol 20mg (Mañana: 1 comprimido).

Espironolactona (Desayuno: 1 pastilla).

Plan y recomendaciones

Se suspende Digoxina y se ajusta la dosis de Metoprolol para evitar bradicardia excesiva. Se añade Espironolactona para manejar la hinchazón de las piernas. Se programará un electrocardiograma en 10-15 días para monitorizar la arritmia con los ajustes de tratamiento. Se recomienda revisión de la inflamación de los dedos con el médico de cabecera para descartar artritis o artrosis.

Alta: No.