



PONTIFICIA UNIVERSIDAD CATÓLICA DEL ECUADOR

FACULTAD DE MEDICINA

TRABAJO DE TITULACIÓN

SUBMODALIDAD: CAPÍTULO DE LIBRO

Pontificia Universidad
Católica del Ecuador



**TEMA: INTELIGENCIA ARTIFICIAL EN EL LABORATORIO CLÍNICO: EJEMPLOS
DE SUS APLICACIONES**

**PREVIO A LA OBTENCIÓN DEL TÍTULO DE MAGISTER EN GESTIÓN DE
CALIDAD EN SALUD Y SEGURIDAD DEL PACIENTE**

AUTOR: Iván Javier Real López

DIRECTOR: Oscar Mauricio Puente Valdivia

QUITO, 2024

DERECHOS DE AUTOR

Por medio del presente documento certifico que he leído todas las políticas y manuales de la Pontificia Universidad Católica del Ecuador, y estoy de acuerdo con su contenido, por lo que los derechos de propiedad intelectual del presente trabajo quedan sujetos a lo dispuesto en esas políticas.

Asimismo, cedo los derechos en línea patrimoniales de mi trabajo de titulación, con fines de difusión pública, además apruebo la reproducción dentro de las regulaciones de la Pontificia Universidad Católica del Ecuador y de conformidad a lo dispuesto en el artículo 144 de la Ley Orgánica de Educación Superior.

Firma del estudiante: _____

Nombre: Iván Javier Real López

Cédula: 1803937463

Lugar y fecha: Quito, 18 de julio de 2024

DEDICATORIA

A mis seres queridos:

Quiero dedicarles este trabajo de graduación con todo mi corazón. Su amor, apoyo y sacrificio han sido fundamentales en este camino académico, y no puedo expresar lo agradecido que estoy por tenerlos a mi lado.

A mi amada esposa, tu paciencia, comprensión y aliento incondicional han sido mi mayor motivación, gracias por ser mi pilar; este logro no sería posible sin ti.

A mis adoradas hijas, son mi fuente de inspiración constante. Sus sonrisas y entusiasmo me impulsan a ser la mejor versión de mí mismo. A medida que crecen, espero poder ser un ejemplo para ustedes y motivarles a perseguir sus propios sueños.

A mi padre, su amor incondicional y su constante apoyo han sido un faro en mi vida; gracias por guiarme, educarme y enseñarme el valor del trabajo.

A mí siempre recordada y amada madre, aunque ya no estés físicamente conmigo quiero dedicarte este trabajo de grado como un homenaje a tu amor, apoyo y dedicación incondicional. Tu partida dejó un vacío en mi corazón, pero tu espíritu y tus enseñanzas siguen vivos en mí.

Este logro no solo es mío, sino también de ustedes. Esta dedicación es un humilde agradecimiento por todo lo que han hecho por mí. Espero que se sientan orgullosos de mi logro, ya que es un reflejo de su amor y dedicación.

Con todo mi amor y gratitud.

Iván Javier Real López

AGRADECIMIENTOS

Al Ser Supremo y dueño de mi vida y todo lo creado, por darme salud, sabiduría y energía para seguir adelante, y permitirme culminar esta maestría que la he seguido con amor y sacrificio continuo.

A todos quienes de una u otra forma me han incentivado a ser mejor cada día, porque sin ellos no sería posible esto.

ÍNDICE GENERAL

DERECHOS DE AUTOR.....	ii
DEDICATORIA.....	iii
AGRADECIMIENTOS	iv
ÍNDICE GENERAL	v
ÍNDICE DE TABLAS.....	vi
ÍNDICE DE FIGURAS	vii
RESUMEN	viii
ABSTRACT	ix
1. INTRODUCCIÓN	1
2. METODOLOGÍA	4
3. DESARROLLO	5
3.1 Definición de IA	5
3.2 IA en el campo de la salud	6
3.2.1 Usos actuales de la IA en el campo de la salud.....	6
3.2.2 Aspectos necesarios para implementar IA en establecimientos de salud.....	7
3.2.3 Disponibilidad de recursos y competencia del personal de la salud en IA.....	8
3.3 La IA en la Medicina de laboratorio.....	10
3.3.1 Gestión dentro de los procesos preanalíticos	10
3.3.2 Eficiencias de los procesos analíticos.....	11
3.3.3 Gestión de los procesos posanalítico	13
3.4 Recursos necesarios para implementar la IA en laboratorio clínico.....	13
3.5 Riesgos del uso de la IA en la medicina de laboratorio.....	13
3.6 Aspectos éticos del uso de IA en el laboratorio clínico	14
3.7 Usos futuros de IA en el laboratorio clínico	16
3.8 Ejemplos de aplicación de IA	17
4. CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES	26
5. BIBLIOGRAFÍA	30

ÍNDICE DE TABLAS

Tabla 1. Beneficios, riesgos, limitaciones y competencias del personal de salud	9
---	---

ÍNDICE DE FIGURAS

Figura 1. Creación de una imagen con la ayuda de inteligencia artificial.....	23
---	----

RESUMEN

Introducción: El capítulo se centra en la inteligencia artificial (IA) y su impacto revolucionario en el ámbito del laboratorio clínico. La rápida evolución tecnológica ha permitido la integración de la inteligencia artificial en procesos analíticos y diagnósticos, transformando la forma en que los profesionales de la salud abordan las pruebas clínicas; se tratan los fundamentos de la inteligencia artificial y su aplicación específica en el contexto del diagnóstico clínico, destacando la mejora potencial en eficiencia, precisión diagnóstica y toma de decisiones clínicas.

Metodología: A través de la revisión bibliográfica de fuentes secundarias, se exploró cómo la inteligencia artificial se está implementando en el laboratorio clínico, y todas las implicaciones, tanto médicas como éticas, que implican estos procesos.

Conclusión: Se destaca que la integración exitosa de la inteligencia artificial en el laboratorio clínico y cómo esta ofrece oportunidades significativas para mejorar la eficiencia operativa y la calidad de la atención al paciente. Sin embargo, se enfatiza la importancia de abordar cuidadosamente los desafíos y riesgos asociados. En última instancia, este capítulo subraya el papel transformador de la inteligencia artificial en el laboratorio clínico y su capacidad para impulsar avances significativos en la práctica médica moderna.

Palabras clave: Inteligencia artificial, laboratorio clínico.

ABSTRACT

Introduction: The chapter focuses on artificial intelligence (AI) and its revolutionary impact in the clinical laboratory field. Rapid technological evolution has allowed the integration of artificial intelligence into analytical and diagnostic processes, transforming the way health professionals approach clinical tests; The fundamentals of artificial intelligence and its specific application in the context of clinical diagnosis are discussed, highlighting the potential improvement in efficiency, diagnostic accuracy and clinical decision making.

Methodology: Through the bibliographic review, we explore how artificial intelligence is being implemented in the clinical laboratory, and all the implications, both medical and ethical, that these processes imply.

Conclusion: It is highlighted that the successful integration of artificial intelligence in the clinical laboratory and how it offers significant opportunities to improve operational efficiency and the quality of patient care. However, the importance of carefully addressing the associated challenges and risks is emphasized. Ultimately, this chapter highlights the transformative role of artificial intelligence in the clinical laboratory and its ability to drive significant advances in modern medical practice.

Keywords: Artificial intelligence, clinical laboratory.

1. INTRODUCCIÓN

La inteligencia artificial (IA) engloba un grupo de sistemas informáticos diseñados para replicar la función cognitiva humana, con el propósito de llevar a cabo tareas de análisis y procesamiento de datos, lo que implica una alimentación continua de conocimientos derivados de la actividad humana, que siempre está en constante evolución (Patiño, 2023).

La incorporación de la IA en el ámbito de la salud ha brindado beneficios significativos como el procesamiento y análisis de grandes cantidades de datos clínicos de manera rápida y precisa, facilitando diagnósticos más tempranos y precisos. Además, la personalización de los tratamientos y la predicción de resultados clínicos se han vuelto posibles gracias a la capacidad de la IA para identificar patrones y tendencias en los datos clínicos (Gruson, Bernardini, Dabla, Gouget, & Stankovic, 2020).

La IA optimiza el almacenamiento de información para los profesionales de la salud, revolucionando la eficiencia de los procesos analíticos y por consiguiente la mejora en la calidad de los resultados. La automatización de tareas consideradas rutinarias, como el análisis de imágenes médicas o interpretación de resultados de laboratorio, han sido potenciados por la capacidad predictiva y analítica de la IA. No obstante, es imperativo abordar los desafíos éticos y regulatorios para garantizar que la implementación de la inteligencia artificial en las diferentes ramas médicas, en este caso, en la medicina de laboratorio, contribuya de manera positiva a la atención médica, sin que se comprometa la integridad y la seguridad del paciente.

Se han detectado dos etapas que permiten el desarrollo de IA en salud. La primera etapa incluye la necesidad de contar con parámetros técnicos que alimentan al programa para cumplir con la función de manera detallada y exclusiva, pues si un sistema dispone de la capacidad de leer mamografías por ejemplo, será un trabajo concreto, pero no podrá indicar el tratamiento. La segunda etapa es aquella asociada a la capacidad *de machine learning*; es decir, se debe tomar en cuenta el conjunto de técnicas que se orientan a la clasificación de información y al aprendizaje de lo que ocurre para la predicción del futuro, con los algoritmos precisos de datos para nutrir los conocimientos y la precisión (Mordo, 2023).

A pesar de los avances prometedores que existen de la IA en salud, su implementación no está exenta de desafíos y riesgos. La preocupación ética, privacidad de los datos y la interpretación de decisiones autónomas de la IA son aspectos críticos que requieren de una atención cuidadosa, es decir, lo transforma en un reto dentro de los avances de este campo. La necesidad imperiosa de salvaguardar la confidencialidad de la información del paciente y garantizar una toma transparente de decisiones se convierte en un factor crucial a considerar (Martínez, Dalgo, Herrera, Analuisa, & Velasco, 2019).

Específicamente en el contexto de la medicina de laboratorio, se verifica la adherencia de la innovación tecnológica en este campo, lo que aporta a la toma de decisiones, así como a brindar un soporte para el control de las patologías existentes, y todos los parámetros que nos permiten controlar de manera eficaz las enfermedades (Greaves, Bernandini, Ferrari, Gourget, & Gruson, 2019). De esta forma, cuando se habla de innovación, se tiene la posibilidad de cambiar los sistemas de salud, y dentro

de ello al diagnóstico por el laboratorio, lo que brinda al personal de salud la información y los mecanismos óptimos para lograr una adecuada calidad de servicios, así como el fomento de mejores resultados clínicos con el uso de menos recursos (Compendium, 2020).

En la actualidad, existen diversos ejemplos del valor agregado que da la IA para la gestión de enfermedades crónicas no infecciosas, tales como el cáncer o enfermedades cardiovasculares, incrementando la eficacia del trabajo de los profesionales de la salud, y la exactitud de las decisiones clínicas, lo que mejora la calidad de la asistencia médica y la seguridad del paciente.

El presente capítulo tiene como objetivo analizar mediante una revisión bibliográfica la incursión de la IA en el laboratorio clínico con ejemplos de aplicación. Con lo anteriormente planteado, se propone la siguiente pregunta de investigación ¿Cómo impacta el uso de la IA en el laboratorio clínico?

2. METODOLOGÍA

Investigación bibliográfica que incluye de manera exclusiva datos abiertos y/o públicos, de revistas indexadas de los cuartiles Q1, Q2, Q3 y Q4.

3. DESARROLLO

3.1 Definición de IA

La IA es el conjunto de sistemas informáticos que, por medio de máquinas, procesadores y softwares ejecuta tareas de procesamiento y análisis de datos que semejan a la actividad realizada por el ser humano (Ponce, Torres, Sayuri, & Silva, 2014).

En la actualidad, la IA se destaca como una rama altamente intrigante de las ciencias tecnológicas; este creciente interés se debe a la expansión continua de su aplicabilidad dirigida hacia la búsqueda de herramientas que faciliten la comprensión de la inteligencia humana, la ejecución de modelos y simulaciones. Este fenómeno no solo despierta la atención, sino que también motiva a numerosos científicos a sumergirse en esta fascinante área de investigación (Gruson, Bernardini, Dabla, Gouget, & Stankovic, 2020).

A lo largo de la historia de la IA ha sido imperativo buscar una definición precisa; sin embargo, hasta el día de hoy, emitir una conceptualización exacta ha resultado desafiante debido a la necesidad de replicar no solo aspectos técnicos, sino también la complejidad de la psicología de la inteligencia humana. Esta última abarca contextos emocionales, interpersonales, musicales, lingüísticos, kinestésicos, entre otros; es precisamente esta amplia gama de dimensiones la que ha generado diversas definiciones y conceptos en el campo de la inteligencia artificial (Gruson, Bernardini, Dabla, Gouget, & Stankovic, 2020).

3.2 IA en el campo de la salud

De acuerdo a la Organización Panamericana de la Salud (2023), al tratarse de salud pública, la principal consideración en el fomento y utilización de la IA debe inclinarse a la seguridad del paciente y a la calidad de atención, siendo éstas la prioridad.

3.2.1 Usos actuales de la IA en el campo de la salud

En el entorno de la salud, el uso de herramientas informáticas innovadoras ha permitido la creación de nuevos fármacos, a través de procedimientos basados en la detección de moléculas específicas, usando técnicas de ingeniería informática y de inteligencia artificial. Estas nuevas tecnologías, facilitan las actividades de quienes las llevan a cabo, generando mejores condiciones de vida, y por ende, haciendo de la IA una aliada en los sistemas de salud innovadores (Martínez, Dalgo, Herrera, Analuisa, & Velasco, 2019).

La IA logra la reducción en la frecuencia de cometimiento de faltas, errores médicos y de laboratorio, ya que permite la predicción de diagnósticos, a partir del análisis e interpretación de algoritmos y softwares de forma estructurada (Greaves, Bernandini, Ferrari, Gourget, & Gruson, 2019). Siendo la actividad humana fuente de error, la automatización constituye una herramienta para la disminución de las faltas que se pudieran cometer, además de la posibilidad de reducir las cargas horarias del personal de salud al disminuir las actividades repetitivas que éste realiza. Esto permite fomentar la relación médico-paciente, con la idea de gestionar la atención personalizada con enfoque en una comunicación continua; pero todavía se requieren

más investigaciones sobre el uso de IA en medicina para disponer de evidencias (Lanzagorta, Carrillo, & Carrillo, 2021).

Actualmente se utiliza el enfoque de medicina cuaternaria que corresponde a la prevención, participación, predicción y personalización, es decir, la medicina 4P (Ruiz & Velásquez, 2023).

La cantidad de información sobre salud de los individuos ha crecido notablemente, y en consecuencia esta información permite mejorar la calidad de los servicios. La extracción de información relevante, para los profesionales de la salud, se dificulta por el uso de métodos tradicionales de procesamiento de datos, por lo tanto, la IA juega un papel fundamental en la utilización de recursos computacionales para el procesamiento de datos masivos que permitirán procesar información que permita la toma de decisiones.

3.2.2 Aspectos necesarios para implementar IA en establecimientos de salud

Uno de los aspectos más importantes a considerar es la presencia de marcos legales que regularicen el uso de la IA en los diferentes países; así mismo, la identificación de prácticas adecuadas para garantizar el uso de IA en la salud, permiten la reducción de sesgos o errores en la toma de decisiones usando la IA; esto último tomando en cuenta una constante actualización de los algoritmos de la IA. Todos estos aspectos tienen como objetivo principal que la IA tenga una participación en la gestión de la salud (Lanzagorta, Carrillo, & Carrillo, 2021).

La falta de profesionales en el área de la salud es uno de los aspectos que motivan a la implementación y uso de IA para mejorar la calidad de la atención a los pacientes, aun cuando esto no reemplace al contacto que debe tener el profesional de salud con el paciente. En este contexto, la bioética es crucial para considerar la atención, porque para poder recibir el soporte de la IA, se debe ingresar todos los datos del paciente, y a través de los algoritmos establecidos, se reciben recomendaciones tanto en el diagnóstico como en el tratamiento del paciente; todo esto basado en datos previamente ingresados, es decir, en la experiencia de otros profesionales de la salud. Al momento de ingresar, o proporcionar datos del paciente, se debe garantizar el cuidado de su información, así como la anonimización de los mismos (Jiménez, Guzmán, G, & Guerra, 2021).

3.2.3 Disponibilidad de recursos y competencia del personal de la salud en IA

En general, entre los retos que se definen con la IA en el campo de la salud están los evidenciados en la Tabla 1:

Tabla 1.*Beneficios, riesgos, limitaciones y competencias del personal de salud*

Beneficios	Riesgos	Limitaciones
Fomento de la acción/diagnóstico y eficacia de tratamientos	Posibles errores de algoritmos que afecten a los pacientes	Dificultad de comprensión de la información compleja
Permite la toma de decisiones oportunas clínicas en los profesionales de la salud	Utilización errónea de herramientas de IA por profesionales de la salud o auxiliares	No hay la posibilidad de que la IA interactúe de forma directa con el paciente como lo hace la relación médico paciente
Fomento de capacitación y formación continua de los profesionales de la salud	Privacidad y seguridad por delitos de ciberseguridad	Poca empatía con el paciente si no se maneja de forma adecuada los datos y la información
Reducción de tiempos de operación y respuesta al paciente	Brechas en la responsabilidad adquirida por el profesional de la salud	No alimentación de información nueva y oportuna si no se llena la IA de nuevos algoritmos.
Fomento de la satisfacción de atención al paciente		

Nota: Se resumen los beneficios y posibles riesgos de la IA en salud. Fuente: (LabCollector, 2023).

3.3 La IA en la Medicina de laboratorio

La IA constituye una herramienta de apoyo para el diagnóstico a través del laboratorio, ya que permite la integración de nuevas tecnologías para el análisis de los datos, la extracción de información y la automatización de procesos. De la misma manera, el uso de historias clínicas electrónicas, sistemas informáticos de laboratorio (LIS) y aplicaciones digitales es posible asociar el Big Data y la IA a la medicina de laboratorio, logrando mejorar la precisión de las metodologías, la reducción de errores, disminución de los tiempos de respuesta y la eficiencia de los procesos incluyendo el incremento de la productividad (SEQC ML, 2023).

Los mecanismos de IA han demostrado ser herramientas valiosas al mejorar la eficacia de los profesionales médicos. La incorporación de la IA ha elevado la precisión en la toma de decisiones clínicas, fortaleciendo así la calidad de la atención brindada y asegurando la seguridad del paciente. Este avance tecnológico no solo facilita el trabajo de los médicos, sino que también contribuye a impulsar una atención médica de mayor calidad y más segura para todos los pacientes (Compendium, 2020).

Dentro del laboratorio clínico, la IA empieza a trascender, pues brinda soporte en la interpretación de resultados, permitiendo de esta forma la estandarización en la interpretación, una pronta emisión de resultados, y por consiguiente, que el médico pueda tratar de manera oportuna al paciente (Abbot, 2024).

3.3.1 Gestión dentro de los procesos preanalíticos

La IA permite una mejora dentro de los procesos preanalíticas a través de la optimización del flujo de trabajo, ya que se puede clasificar y priorizar las muestras,

garantizando de esta forma una gestión adecuada de las muestras de los pacientes en función de su ponderación (Fastercapital, 2024).

3.3.2 Eficiencias de los procesos analíticos

La IA puede automatizar tareas analíticas que se desarrollan de manera habitual dentro del laboratorio clínico. El tratamiento y análisis de grandes volúmenes de datos, la identificación de patrones en resultados de pruebas y la generación de informes, son ejemplos de su aplicación. Esto permite a los profesionales de laboratorio centrarse en tareas más complejas y de toma de decisiones, reduciendo así el tiempo empleado en la emisión de los resultados (Gangurde, 2023).

Considerando que la implementación de IA probablemente esté en curso alrededor del mundo, no se cuentan aún con estudios que evidencien, o no, la disminución de tiempos de respuesta. En la actualidad, gran parte de los estudios relacionados con IA en salud son de implementación; esto debido a que aún no existen normativas explícitas sobre este campo, y aún están en debate las consideraciones bioéticas, sesgos y demás, como la constante actualización de algoritmos para que la gestión de interpretación de resultados siempre permanezca con los últimos datos (Fastercapital, 2024).

La monitorización como parte indispensable para mejorar la calidad y satisfacción del paciente se ha venido gestionando desde 1970, a través de los primeros medidores de glucosa, que se posicionaron debido a su precisión diagnóstica y sus bajos costos (Lanzagorta, Carrillo, & Carrillo, 2021). Por lo tanto, hoy, el ingreso de la monitorización continua (MCG), ha logrado que los pacientes tengan un mayor

control sobre su enfermedad, y brinda a los médicos aquellos recursos digitales necesarios para la detección de tendencias en cuanto a control metabólico, incluso diario, sin que se deban someter a pinchazos para la medición de glucosa en sangre (Lanzagorta, Carrillo, & Carrillo, 2021).

Los sistemas de monitorización continua de glucosa (CGM) para pacientes diabéticos funcionan mediante un pequeño sensor subcutáneo que mide los niveles de glucosa en el fluido intersticial; este sensor está conectado a un transmisor que envía datos a un receptor o monitor, proporcionando mediciones de glucosa en tiempo real. Los algoritmos internos procesan estos datos para compensar variaciones individuales y ofrecer mediciones precisas. Los dispositivos emiten alertas cuando los niveles de glucosa están fuera del rango establecido, y algunos sistemas están integrados con bombas de insulina. Además, estos sistemas registran un historial de datos que permite el análisis de tendencias y patrones, facilitando el ajuste del plan de tratamiento y proporcionando a pacientes y profesionales de la salud una herramienta valiosa para la gestión efectiva de la diabetes (Rojas, 2023).

En la actualidad, la IA facilita la participación ágil del paciente en su propio cuidado, promoviendo resultados efectivos. Esto se logra mediante el uso de tecnologías como Bluetooth y software de monitoreo continuo, cuyos procesos son impulsados por algoritmos de información respaldados por la IA.

3.3.3 Gestión de los procesos posanalítico

Como parte de los procesos posanalítico, se encuentra el desarrollo de IA para autovalidación, gestión que es posible a través de la implementación de algoritmos que permitan a la IA, posterior al análisis de los datos históricos del paciente, la validación automática de aquellos resultados que no requieran intervención por parte del operador para su confirmación o liberación (Abbot, 2024).

3.4 Recursos necesarios para implementar la IA en laboratorio clínico

Para llevar a cabo este proceso, es necesario contar con recursos específicos, como un hardware y una aplicación o software especializado en el manejo de datos de laboratorio. Además, se requiere una infraestructura flexible y compatible con los intereses del laboratorio. También es esencial disponer de personal capacitado para llevar a cabo esta tarea; si bien no se necesitan conocimientos avanzados en informática, es fundamental que tengan un entendimiento sólido de bases de datos, incluyendo el concepto de big data, y cómo gestionarlas eficientemente (Gruson D. , 2021). Es importante considerar en este contexto, la norma ISO 42001:2023, detalla los requisitos para establecer, implementar, mantener y mejorar un sistema de gestión de IA dentro de una organización, siendo esta el primer estándar de gestión de IA a nivel mundial (ISO/IEC 42001:2023, 2023).

3.5 Riesgos del uso de la IA en la medicina de laboratorio

De acuerdo con Rojas (2022), un riesgo del uso de la IA en el laboratorio está la dependencia de su uso excesivo. Si los profesionales de la salud confían totalmente en los resultados de la IA sin una supervisión y validación adecuadas, podría haber una disminución en la atención crítica y el juicio clínico humano.

La privacidad y seguridad de los datos; recopilación y el procesamiento de grandes cantidades de datos de pacientes para entrenar modelos de IA plantean preocupaciones de privacidad; es crucial garantizar la seguridad de estos datos para evitar accesos no autorizados o vulnerabilidades cibernéticas. De la misma manera, es importante considerar pérdida de interacción entre profesionales; así como la probabilidad de la existencia de errores y sesgo algorítmico.

Los algoritmos de IA pueden estar sujetos a errores, especialmente si no se entrenan adecuadamente con datos representativos y diversos. Además, si los conjuntos de datos utilizados para el entrenamiento contienen sesgos, los algoritmos pueden replicar y amplificar dichos sesgos en sus decisiones (Compendium, 2020).

Es así como, la integración de la IA en dichos procesos de trabajo constituye una herramienta que aporta para mejorar la velocidad y calidad al diagnóstico, de tal forma que permita la automatización de los procesos dentro del laboratorio. Además, estas plataformas permiten automatizar procesos microbiológicos, consiguiendo un margen de mejora y optimización de diagnóstico, con el uso de sistemas de imagen con más amplia sensibilidad, así como de análisis de imagen con alta resolución y que dar la posibilidad de unificar colonias pequeñas que el ojo del ser humano no percibe (Greaves, Bernandini, Ferrari, Gourget, & Gruson, 2019).

3.6 Aspectos éticos del uso de IA en el laboratorio clínico

En el ámbito ético, la seguridad del paciente ocupa un lugar central. En procesos analíticos, se debe garantizar un resguardo completo y riguroso de la

información del paciente, evitando cualquier fuga de datos por error. Además, es esencial explorar sistemas que fomenten la ciberseguridad. Para la implementación de la IA, es imperativo que los diagnósticos y tratamientos hacia el paciente sean más específicos y precisos, con el objetivo de evitar errores que puedan representar una amenaza para su vida (Gruson, Damien, 2021).

Los sistemas de IA en la salud plantean aspectos primordiales como la privacidad y seguridad de datos de los pacientes, lo que es una consideración fundamental en la implementación de la IA en salud, debido a que esta va a depender del acceso a grandes bloques de información de los pacientes para lograr su entrenamiento y funcionamiento continuo, lo que podría incidir en el riesgo de la seguridad de datos cuando no se los ha manejado de forma correcta (García, Girón, & Rosselli, 2023).

Por otro lado, cuando los datos de entrenamiento que usa la IA son sesgados entonces también va a representar una fracción de población que tendrá los resultados no equitativos (Compendium, 2020). A su vez se observa la necesidad de transparencia que es una consideración ética fundamental en la IA en el campo de la salud, por lo que es indispensable que los médicos y proveedores de IA usen los datos para tomar decisiones médicas de forma oportuna, sin olvidar también que, los pacientes deben entender y explicar el uso de sus datos y la forma de llegar a un diagnóstico y tratamiento adecuado.

En la atención médica también se plantea ciertas consideraciones y repercusiones de la IA, pues los sistemas deben reconocer y centrarse en los códigos de conducta, que permitan lograr una guía moral para usar dichos sistemas.

Según García et. Al (2022), hay tres aspectos éticos que se fomentan al usar la IA. En primera instancia, el paciente ha de encontrarse totalmente informado sobre la utilización de dichos sistemas; segundo, los profesionales de la salud deben conocer y aprender acerca del uso de la tecnología que se va a aplicar, asegurando que se brindará un aporte para el paciente y su calidad de vida y finalmente, la aplicación de principios básicos de la ética médica (beneficencia y no maleficencia).

3.7 Usos futuros de IA en el laboratorio clínico

Si bien, ya se ha descrito que las herramientas de IA incrementan la eficacia de los profesionales médicos, en un futuro se busca que el aumento en la precisión para la toma de decisiones clínicas, ayudando a la mejora de la calidad de atención y seguridad del paciente (Gruson, 2021).

Se espera que existan más estudios e investigaciones sobre el uso de la IA en los laboratorios clínicos para detectar su capacidad y eficiencia, y la nueva implementación de estos sistemas en más laboratorios a nivel mundial (Greaves, et.al, 2019); pues se espera que al incrementar bloques de información también hayan nuevos algoritmos más sólidos que permitan eliminar o contrastar los sesgos en diagnósticos, tratamientos y en la identificación por ejemplo de los fenotipos de enfermedades crónicas, logrando así tratamientos ágiles y efectivos más oportunos.

3.8 Ejemplos de aplicación de IA

A continuación, se incluyen ejemplos de aplicación de la IA en procesos analíticos (recopilación de datos de diversas fuentes, preparación de los datos para su análisis) y extra analíticos (actividades fuera de la recopilación de bases de datos de laboratorio). En ambos casos la IA ha sido de gran ayuda debido a su capacidad de gestión de algoritmos para simplificar las tareas, reducir carga laboral en el personal de laboratorio y además fomentar la satisfacción del paciente, creando una relación adecuada entre profesional de la salud-paciente.

En el caso de los procesos analíticos, la IA permite la detección de anomalías dentro de los procesos de interpretación, ya que al hacer posible el análisis de amplias cantidades de patrones para identificar tendencias o comportamientos de los pacientes, permite la toma de decisiones sobre diagnóstico-tratamiento, monitorizando de esta forma los tiempos de respuesta que evidentemente mejoran gracias a la intervención de la IA (LabCollector, 2023).

La IA también permite la personalización del contenido, ya que al usar bloques de información específica, por ejemplo para médicos, enfermeras, o personal clínico, se abordan las necesidades y roles particulares de cada grupo, facilitando la comunicación más efectiva y una mejor comprensión, ya que cada profesional puede acceder a la información que es más pertinente para sus responsabilidades y funciones específicas (Blun, 2023). De manera complementaria, existen programas específicos de la aplicación de IA a nivel de salud, que se ejemplifican a continuación:

Para el programa Cloudmex, las historias clínicas son electrónicas, al simplificar el acceso y análisis de los datos de los pacientes, que constituye información de importancia para la interpretación y correlación de resultados; permite también el acceso a datos de imágenes médicas, como por ejemplo, láminas de histopatología, para facilitar su análisis, interpretación y seguimiento. Permite además, la monitorización de datos de sensores y dispositivos médicos, como de equipos medidores de glucosa que alertan cuando hay, sea una disminución o aumento, que pone en riesgo la vida de quien la usa, datos de laboratorio clínico: resultados de análisis, pruebas diagnósticas y datos genómicos, con el fin de facilitar en análisis de pruebas de citogenética (CloudMedx, 2023). De tal forma que se puede generar una mejora integral en la atención, evidenciado desde la atención al paciente, emisión de resultado e interpretación de este; con el fin de convertir amplias cantidades de información en conocimiento a nivel crítico que permite el empoderamiento a pacientes, personal médico y proveedores a través de una participación, toma de decisiones informada y un acceso transparente a la información (CloudMedx, 2023).

La aplicación descrita además de usar datos emplea la recolección de aprendizajes automatizados para generar modelos de predicción, que al asociar con la atención médica en cada espectro, se aporta a los pacientes, proveedores y médicos (CloudMedx, 2023).

Desde el 2021, el programa DeepMind crea un equipo para abordar problemáticas de uso complejo de atención médica, por lo que se ha desarrollado aspectos de investigación de la IA, incluyendo aquí mecanismos móviles que tienen un alto impacto positivo en los pacientes y en los grupos de atención. La plataforma

ha sido liderada por el Dr. David Feinberg y con otros equipos de Google, y hoy se verifica la experiencia en áreas tales como la seguridad de datos, almacén de datos en nube, diseño de usuarios de creación de productos que permitan el respaldo a equipos de atención y mejora de los resultados de laboratorio (Deepmind.google, 2019).

En lo relacionado con la fase posanalítica de la atención médica, la cual está centrada en la gestión e interpretación de resultados, las plataformas utilizan redes neuronales profundas, que son estructuras matemáticas compuestas por capas de nodos interconectados (Deepmind.google, 2019); esto permite un aprendizaje complejo, por lo que permite analizar grandes conjuntos de datos clínicos. A través de esta característica, se consigue una mejora significativa en la interpretación de resultados, lo que permite al médico tener una perspectiva del estado clínico de los pacientes de forma precisa y rápida. Una de las utilidades además consiste en una gestión eficaz de la información generada en la posanalítica, transformando el flujo de trabajo hacia procesos más fluidos (Deepmind.google, 2019).

A través de las redes neuronales profundas, se realiza la alimentación de algoritmos y bases de datos con imágenes, que permiten en la actualidad contar con verdaderas bibliotecas, que, a través de IA, permiten el reconocimiento de imágenes médicas, como es el caso de estructuras celulares. Hay equipos de laboratorio que, a través de IA, realizan el reconocimiento de estructuras, como es el caso de equipos de uroanálisis y coproanálisis, donde se reconocen desde cilindros hasta parásitos intestinales (Muhammad, 2019).

Con el uso de DeepMind, dentro del laboratorio clínico se puede mejorar la eficiencia, precisión y velocidad de procesos; en el ámbito de la genómica, permite el análisis de datos genómicos para identificar patrones, mutaciones o predisposiciones genéticas y asociarlas a enfermedades o respuestas a tratamientos específicos. Además, permite optimizar la gestión de procesos dentro del laboratorio, a través de la asignación de recursos, seguimiento de inventarios y planificación de turnos de trabajo, contribuyendo así a una mayor eficiencia operativa (Deepmind.google, 2019).

iCarbonX constituye un programa de IA en desarrollo aún que posee un gran potencial en revolucionar la medicina de precisión; dentro de sus características se encuentran: permite la detección temprana de enfermedades, a través de biomarcadores desarrollados que permiten detectar enfermedades muy tempranas, inclusive antes de que aparezcan los síntomas; de esta forma permite un diagnóstico más preciso y acertado sobre el estado clínico de un paciente; predecir el riesgo de una enfermedad, así como la monitorización del progreso en un paciente ya diagnosticado (IcarbonX, 2020).

Así mismo, posee ciertas limitantes; y, al encontrarse en fase de desarrollo y validación, aún falta mucho para poder confirmar tanto su precisión como eficacia de los biomarcadores que esta plataforma pone a disposición; su costo-beneficio es demasiado elevado; así como aún se desconoce si los datos que se ofrecen tienen validez externa (IcarbonX, 2020).

El Sistema de soporte de decisión clínica (Clinical decision support system - CDSS) tiene como objetivo mejorar la atención médica a través de la mejora en las

decisiones clínicas. Para este fin, el sistema cuenta con conocimientos clínicos específicos, información de salud y por ende información propia del paciente; es decir, este constituye un sistema de apoyo al médico al momento de la toma de una decisión clínica. Dentro de los beneficios que tiene CDSS, se encuentran la disminución de diagnósticos errados, prescripción adecuada de medicamentos, en lo referente tanto al principio activo del fármaco, error que principalmente se presenta en niños o pacientes con problemas renales o hepáticos. Se genera una mayor eficiencia, sobre todo en casos complejos donde el tiempo es un factor preponderante en el manejo del paciente, mayor rentabilidad, pues el tiempo de evaluación por paciente disminuye considerablemente (Capminds, 2020).

La empresa Abbott Inc. emplea la asistencia – Alin IQ (CDS) Clinical Decision Support, que puede considerarse como una guía para la toma de decisiones basadas en el paciente, con el fin de mejorar la toma de decisiones frente a pacientes complicados. Frente a las necesidades actuales, Abbott Inc. se encuentra implementando su proceso de optimización clínica, a través del cual busca movilizar datos diagnósticos con el fin de mejorar el rendimiento y la calidad del sistema sanitario (Abbot, 2024).

Una vez que un profesional de la salud emplea el sistema, este retroalimenta el mismo a través de la decisión o guía empleada con su propio paciente; esto contribuye con la disminución de la variabilidad en la atención sanitaria; es decir, a las diferencias que pueden existir tanto en el diagnóstico como en el tratamiento que cada médico establece para una misma patología, promoviendo así la alineación de las

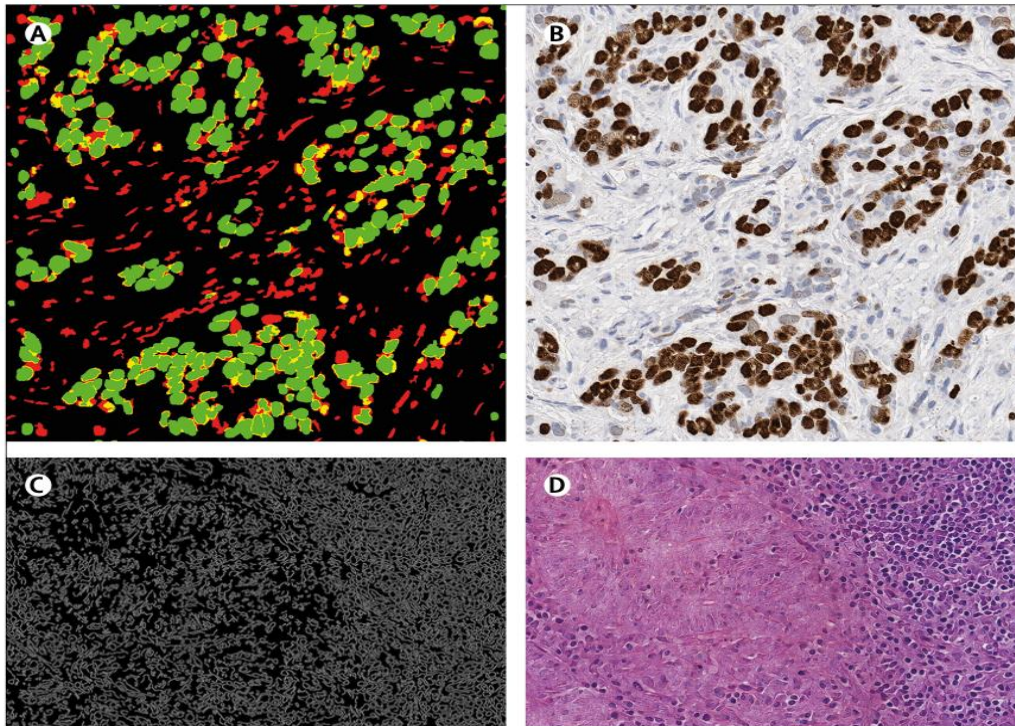
decisiones clínicas con los protocolos ya establecidos. De esta forma además se puede optimizar las pruebas dentro de los laboratorios clínicos a través de la solicitud adecuada de pruebas, y la consiguiente mejora en la eficacia de los flujos de trabajo establecidos entre el médico y el laboratorio clínico dentro de cada institución (Abbot, 2024).

La gestión de imágenes a través de inteligencia artificial dentro del laboratorio de patología se ha transformado tanto en una guía como en una herramienta en el diagnóstico de portaobjetos digitales, al lograr generar una sinergia entre la IA y la patología digital. En el caso de imágenes de este tipo de portaobjetos, existe una complejidad adicional sobre las imágenes radiológicas que ya se venían estudiando por IA, y esta consiste en el empleo de coloración para el diagnóstico, sea hematoxilina eosina o inmunohistoquímica; así como que cada punto de la placa puede generar imágenes diferentes e importante información sobre el estado del paciente (Muhammad, 2019).

A través de la generación de complejos algoritmos, así como la conformación de grandes bases de datos de láminas digitales, la inteligencia artificial realiza imágenes falsas (Figura 1), que permiten el estudio y la clasificación de nuevas imágenes que sean ingresadas para estudio a través de la comparación digital de patrones; esto permite desarrollar una medicina de precisión, diagnósticos más acertados y en menor tiempo, permitiendo al profesional médico atender más casos en un menor tiempo.

Figura 1.

Creación de imágenes con la ayuda de inteligencia artificial (cáncer)



Nota. A. Imagen de entrada con los núcleos positivos (verde) y negativos (rojo), KI67 deseados, B. Imagen sintética (falsa) generada por redes neuronales. C. Líneas dibujadas al azar. D. Imagen sintética generada a partir de C, cáncer de vejiga. Fuente: (Muhammad, 2019).

Según observaciones realizadas, existe una concordancia que va del 89 % al 99 % en el diagnóstico, comparando el uso de IA en la lectura de portaobjetos digitales con la revisión microscópica convencional (Muhammad, 2019).

Tomando en consideración que uno de los principales beneficios es la velocidad de respuesta, la IA clínica y su subconjunto conocido como aprendizaje automático (ML),

permiten la ejecución de múltiples actividades. Dentro del laboratorio, permiten la predicción de valores, así como la automatización de diversos procesos.

Dentro de las limitaciones en la implementación de IA en la rutina, se encuentran la necesidad de recopilación de datos de alta calidad para poder alimentar la base de datos y por consiguiente generar algoritmos que permitan un adecuado funcionamiento, las regulaciones federales tanto nacionales como internacionales; la evaluación extensa a fin de generar estudios, datos estadísticos que permitan realizar comparaciones entre el método manual y la actividad desempeñada con IA; consideraciones éticas; introducción de data sin sesgos y el pleno convencimiento sobre el modelo diagnóstico que se aplica a cada paciente (Blun, 2023).

A través de inteligencia artificial, se puede realizar la monitorización de indicadores clave de desempeño (KPI), con el fin de medir calidad, eficacia y eficiencia de manera continua (Gangurde, 2023).

Empleando IA, aprendizaje automático (ML) y análisis de datos (DA) se busca la monitorización de los tiempos de respuesta de cada muestra, el volumen empleado por prueba y por instrumento, costo de prueba por unidad, tasas de repetición, exactitud y precisión de los resultados, tasa de precisión de resultados de las pruebas, tiempo de documentación y presentación de informes y finalmente productividad del personal (Abbot, 2024).

El uso de la IA permite a los laboratorios encontrar cosas que no son obvias para los humanos a simple vista. A través de la elaboración de complejos algoritmos y

de técnicas de aprendizaje automático, se puede analizar grandes volúmenes de datos de los pacientes, con el fin de generar tanto diagnósticos como tratamientos más precisos, con la nota que se puede generar riesgos que puedan presentarse a futuro (Gangurde, 2023).

4. CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES

4.1 Conclusiones

- La IA se plantea como una derivación de las ciencias de la tecnología que cada vez toma mayor interés, pues se ha ampliado su contexto de aplicación, al identificarse como una herramienta que ayuda a comprender la inteligencia del ser humano a través de la gestión, modelos y simulaciones de esta. Se la plantea como el conjunto de sistemas de información que ayudan a imitar la cognición del individuo a través de máquinas, procesados y softwares.
- Los sistemas de salud en la actualidad están en constante transformación y una herramienta aliada es la inteligencia artificial, para aspectos relacionados con el diagnóstico, tratamiento y predicción de enfermedades, así como con la posibilidad de presentar información fidedigna en tiempo real compilándola y evitando carga de trabajo a los profesionales de la salud, dando así más tiempo hacia la relación médico-paciente, ya que esta última labor no puede ser reemplazada por la inteligencia artificial.
- En el ámbito de laboratorio clínico, se están creando nuevos biomarcadores diagnósticos y pronósticos, su avance es lento; sin embargo, se siguen creando algoritmos predictivos para el uso de inteligencia artificial. La IA mejora los procesos analíticos en el laboratorio clínico, estructurando de datos e información, lo que a su vez ayuda a mejorar los tiempos de respuesta y dar un seguimiento y monitoreo continuo de pacientes.

Existen varios ejemplos del uso de la IA en los procesos analíticos, como los sistemas automáticos de crecimiento de bacterias por ejemplo, tales como CloudMedX, DeepMind Health, iCarbonX, teniendo claro su uso ya que brinda aportes a la calidad y oportunidad de diagnóstico, y es que es posible adentrarse a disminuir el tiempo de resultados de laboratorio, con instrumentos que ayuden a discriminar datos positivos de los negativos, pues el profesional de laboratorio requiere concentrarse en las muestras positivas y complejas. Entre los ejemplos indicados anteriormente se encuentra CloudMedX una aplicación que simplifica los datos, para convertir la Big data en conocimiento concreto para beneficio de pacientes y proveedores de salud, con el uso de datos y aprendizajes automatizados a partir de un proceso predictivo que al asociarse con la propia atención médica aporta a todos los actores del sistema de salud con una comprensión de lenguaje natural (NLU).

Se debe considerar la parte ética en la IA, con el fin de precautelar la integridad de los pacientes al momento que se utiliza sus datos, su historia clínica para la generación de recomendaciones en la interpretación de resultados y por consiguiente, el empleo de la información para alimentar bases de datos que permitan la actualización constante de los algoritmos usados por la IA.

4.2 Recomendaciones

Se estima que se crearán más aplicaciones tanto fijas como de uso móvil que no requieran de especialización informática para ser utilizadas por los profesionales de la salud, y en esta instancia, se hace factible su utilización en el laboratorio clínico y en ramas como la microbiología, además se perfeccionarán las aplicaciones existentes, en función de que se crearán nuevos algoritmos y cada vez la información con la que se alimenten las herramientas de IA irán perfeccionándose para prevenir o evitar sesgos o errores de diagnóstico o tratamiento para el paciente.

Es necesario tomar en consideración los factores éticos que abarca el uso de la IA en el campo de la salud y específicamente en el laboratorio clínico, dando seguridad al paciente por medio de la ciberseguridad sobre los datos generados en el laboratorio ya sea con uso de firewalls, antivirus, programas de protección específicos para los programas de IA, así como la garantía de seguridad hacia el paciente y el suministro de medicamentos, y tratamientos que se les provee.

Es indispensable que los profesionales de la salud se capaciten de forma continua en los nuevos usos y funcionamiento que se le da a la IA, así como en herramientas específicas que pueden ya implementarse en sus laboratorios clínicos, de tal forma que se aproveche su utilización, y sea posible identificar de forma práctica los aportes que esta ofrece tanto en la calidad de atención al paciente como en la reducción de carga horaria al médico, enfermeras y auxiliares.

La IA está en una fase beta, por lo que aún no ha sido difundida y masificada en todos los laboratorios del mundo que pudieran tener acceso a ella, por lo tanto, se

requieren de más estudios para poder implementar la inteligencia artificial en el campo de la salud y del laboratorio clínico.

La IA es una herramienta sumamente prometedora para impulsar mejoras significativas en los laboratorios, aprovechando sus múltiples ventajas. Al integrar los recursos disponibles tanto en las etapas de preanálisis como de posanálisis, se espera experimentar un avance considerable en diversos aspectos. Esto incluye, no solo la reducción de los tiempos de respuesta, sino también la optimización de todas aquellas actividades que actualmente dependen en gran medida de la pericia del operador. Al automatizar estas tareas y convertirlas en procesos mecánicos, se anticipa una disminución considerable en los errores inherentes a la intervención humana, mitigando así la influencia del técnico responsable en la precisión de los resultados.

5. BIBLIOGRAFÍA

- Abbot. (2024). *Alin IQ*. Obtenido de <https://www.corelaboratory.abbott/int/es/offerings/brands/aliniq/aliniq-cds.html>
- Blun, K. (enero de 2023). *Un informe de situación sobre la IA en la medicina de laboratorio*. Obtenido de <https://www.myadlm.org/cln/articles/2023/janfeb/a-status-report-on-ai-in-laboratory-medicine>
- Capminds. (diciembre de 2020). *What Is Clinical Decision Support System?* Obtenido de <https://www.capminds.com/blog/clinical-decision.support-system-all-you-need-to-know>
- CloudMedx. (25 de 11 de 2023). *Simplificar los datos para permitir una mejor atención*. Obtenido de <https://cloudmedxhealth.com/about/>
- Compendium. (2020). Artificial intelligence in healthcare. *Health First Europe*, <https://healthfirsteurope.eu/publication/compendium-artificial-intelligence-in-healthcare/>.
- Compendium. (2020). *Artificial intelligence in healthcare*. <https://healthfirsteurope.eu/>: Health First Europe.
- Damien Gruson. (2021). Big Data, inteligencia artificial y medicina de laboratorio: la hora de la integración. *De Gruyter*, <https://www.ncbi.nlm.nih.gov/pmc/articles/PMC10197294/pdf/almed-2-1-almed-2021-0014.pdf>.

- Deepmind.google. (18 de 09 de 2019). *El equipo de salud de DeepMind se una a Google Health*. Obtenido de <https://deepmind.google/discover/blog/deepminds-health-team-joins-google-health/>
- Díaz, E. (2023). Impacto de la inteligencia artificial en la monitorización de pacientes en enfermería. *Polo del Conocimiento*, ISSN: 2550-682X.
- Fastercapital. (2024). *Clinical Laboratory Artificial Intelligence Revolutionizing Diagnostics: How AI Is Transforming Clinical Laboratories*. Obtenido de <https://fastercapital.com/content/Clinical-Laboratory-Artificial-Intelligence-Revolutionizing-Diagnostics--How-AI-Is-Transforming-Clinical-Laboratories.html>
- Gangurde, S. (abril de 2023). *Papel de la IA en la atención sanitaria: transformando el futuro del diagnóstico médico*. Obtenido de <https://blog.creliohealth.com/future-of-diagnostic-labs-the-role-of-ai-in-healthcare-transforming-medical-lab-operations/>
- García, A., Girón, F., & Rosselli, D. (2023). La integración de la inteligencia artificial en la atención médica: desafíos éticos y de implementación. *Universitat Médica*, ISSN: 0041-9095 Vol. 64, N°. 3.
- Greaves, R., Bernardini, S., Ferrari, M., Gourget, B., & Gruson, D. (2019). *El Key questions about the future of laboratory medicine in the next decade of the 21st century: a report from the IFCC-Emerging Techechnology* . S70-89: Clin Chim Acta Elsevier.
- Gruson, D. (2021). *Big data, Inteligencia artificial y medicina de laboratorio: la hora de la integración*. <https://doi.org/10.1515/almed-2021-0014>: Adv Lab Med.

Gruson, D., Bernardini, S., Dabla, P., Gouget, B., & Stankovic, S. (2020). Collaborative AI and laboratory medicine integration in precision cardiovascular medicine. *PudMed*, doi: 10.1016/j.cca.2020.06.001. .

Gruson, Damien. (2021). Big Data, inteligencia artificial y medicina de laboratorio: la hora de la integración. *Pud Med Central*, https://www.ncbi.nlm.nih.gov/pmc/articles/PMC10197294/#j_almed-2021-0014_ref_002.

IcarbonX. (2020). *Descifrar el dogma central y centrarse en nuevos descubrimientos biológicos*. Obtenido de <https://www.icarbonx.com/en/>

ISO/IEC 42001:2023. (2023). *Information technology Artificial intelligence Management system*. Obtenido de [https://www.iso.org/es/contents/data/standard/08/12/81230.html#:~:text=ISO%20FIEC%2042001%20es%20una,\(SGIA\)%20en%20las%20organizaciones](https://www.iso.org/es/contents/data/standard/08/12/81230.html#:~:text=ISO%20FIEC%2042001%20es%20una,(SGIA)%20en%20las%20organizaciones).

Jiménez, A., Guzmán, N., G, L. F., & Guerra, J. (2021). Avances tecnológicos en salud desde el área de la atención prehospitalaria. *REDICES*, <https://repository.ces.edu.co/handle/10946/5360>.

LabCollector. (2023). *Módulos LabCollector*. Obtenido de https://labcollector.com/labcollector-lims/features/modules/?_gl=1*1cykyt5*_ga*MTAxMTMyMDM1MC4xNzAwOTI4MDgx*_ga_2W1JKZBNCD*MTcwMDkyODA4MC4xLjEuMTcwMDkyODEwMy4zNy4wLjA.*_gcl_aw*R0NMLjE3MDA5MjgwODEuQ2p3S0NBaUEwNGFyQmhBa0Vpd0F1Tk9zSXFrvVlocTdnR1ILWXR5YVVKbjZ

Lanzagorta, D., Carrillo, D., & Carrillo, R. (2021). *Inteligencia artificial en medicina: presente y futuro*.

http://www.scielo.org.mx/scielo.php?script=sci_arttext&pid=S0016-38132022001100017: Gaceta Médica de México.

Martínez, D., Dalgo, V., Herrera, J., Analuisa, E., & Velasco, E. (2019). *Avances de la inteligencia artificial en salud*. Vol 5, núm. 3: Dom. Cien. ISSN: 2477-8818.

Mordo. (2023). *Mercado de inteligencia artificial en medicina: Crecimiento, tendencias, impacto de Covid-19 y pronósticos*.
<https://www.mordorintelligence.com/es/industry-reports/artificial-intelligence-in-medicine-market>: mordorintelligence.com.

Muhammad, K. (Mayo de 2019). *Digital Pathology and Artificial Intelligence*. Obtenido de <https://www.ncbi.nlm.nih.gov/pmc/articles/PMC8711251/>

Organización Panamericana de la Salud. (2023). *La inteligencia artificial en la salud pública*.
https://iris.paho.org/bitstream/handle/10665.2/53887/OPSEIHIS21011_spa.pdf?sequence=1&isAllowed=y: PAHO.

Patiño, C. (2023). *El rumbo de la salud que marca la inteligencia artificial*.
<https://www.prilmed.com/post/el-rumbo-de-la-salud-que-marca-la-inteligencia-artificial>: PrilMed.

Ponce, J. C., Torres, A., Sayuri, F., & Silva, A. (2014). *Inteligencia Artificial. Proyecto Latin*, DOI: 10.13140/2.1.3720.0960.

Rojas, R. (2023). *Inteligencia Artificial en el sector salud, ¿cuáles son sus riesgos y desventajas?* *saluddiario.com*, <https://www.saluddiario.com/inteligencia-artificial-sector-salud-desventajas/>.

- Ruiz, R., & Velásquez, J. (2023). Inteligencia Artificial al Servicio de la Salud del Futuro. *Revista Médica Clínica las Condes*, 34 (1) 84-91
<https://www.elsevier.es/es-revista-revista-medica-clinica-las-condes-202-articulo-inteligencia-artificial-al-servicio-salud-S0716864023000032>.
- Sener. (19 de 06 de 2021). *Inteligencia Artificial en laboratorios de microbiología*.
Obtenido de <https://www.diagnostics.sener/es/2021/06/19/inteligencia-artificial-laboratorios-microbiologia/>
- SGC LAB. (12 de 08 de 2023). *10 consejos de buenas prácticas para garantizar la seguridad de la información en tu laboratorio*. Obtenido de <https://sgc-lab.com/10-consejos-de-buenas-practicas-para-garantizar-la-seguridad-de-la-informacion-en-tu-laboratorio/>
- Terán. (2020). ¿Qué es la inteligencia artificial? *trendmicro*,
https://www.trendmicro.com/es_es/what-is/machine-learning/artificial-intelligence.html#:~:text=La%20capacidad%20de%20tomar%20decisiones,hu mano%20y%20el%20enfoque%20ideal.