



Universidad de San Andrés
Escuela de Administración y Negocios

**Maestría en Gestión de Servicios Tecnológicos y de
Telecomunicaciones**

**“Adopción de Inteligencia Artificial y Machine Learning
como asistente en el diagnóstico por imágenes médicas”**

SanAndrés

Autor: Ezequiel María Frugone

DNI: 31.423.356

Director de Tesis: Pablo Sciolla

Buenos Aires, Septiembre de 2023



Universidad de
San Andrés

Dedicatoria

A mi familia, por apoyarme y estar siempre presente de forma incondicional.

Agradecido por su ánimo y contención para llevar a cabo este proceso.

Sin ustedes, todo hubiese sido más complejo.



Agradecimientos

Agradecido por haber tenido la oportunidad de cursar esta maestría y compartir miles de experiencias con increíbles equipos y profesores, destacando la excelencia académica de la Universidad de San Andrés y el compromiso de su director Enrique Hofman.

Un especial agradecimiento a Pablo Sciolla por compartir sus conocimientos y acompañar en el proceso de investigación de esta tesis, todo su tiempo y motivación fueron de gran ayuda a lo largo del desarrollo del trabajo.

Por último, quiero agradecer a mis compañeros y todos aquellos que participaron de las entrevistas, que con sus conocimientos y experiencias fueron de gran apoyo para lograr el objeto de estudio.

Universidad de
San Andrés

Muchas gracias.

Resumen Ejecutivo

Como apunta Albert Cervera (2021), una nueva era de conectividad y tecnologías emergentes, sumado a su rápida adopción y gestión, está transformando los paradigmas laborales, mejorando la calidad de vida de las personas y cambiando la perspectiva global sobre la disciplina.

El creciente interés en utilizar tecnologías emergentes, como es el caso de Inteligencia Artificial y el Aprendizaje Automático, logran aprovechar y comprender el conjunto de datos en su totalidad, obteniendo como resultado una mejora en la atención médica. Al tratarse de una estrategia de innovación, cuyo grado es disruptivo y de constante crecimiento, se presenta una variedad de desafíos únicos, como así también oportunidades específicas que benefician el cuidado de la salud (Zanos et al., 2022).

Dado el desarrollo y crecimiento exponencial en la utilización de la Inteligencia Artificial, algunas de las preguntas que suelen resonar se encuentran relacionadas al futuro del trabajo. Sumado al punto anterior, otra gran inquietud que se suele manifestar se relaciona al lugar y rol que estaría ocupando el personal de salud, en este proceso de mejora continua (Lauzirika, 2022).

Continuando con este concepto y basándose en un estudio de Frey & Osborne (2013), realizando en base a 700 puestos de trabajo actuales, se definió que el 47% de ellos se encontraría en gran riesgo al pasar a ser automatizados o reemplazados por la utilización de tecnologías emergentes. Si bien es un proceso cuyo ritmo de innovación, se encuentra en un crecimiento acelerado, la Inteligencia Artificial requiere de un acompañamiento continuo, perfeccionando y beneficiando de manera simultánea la capacidad de la persona y aportando grandes ventajas competitivas.

Otro de los puntos a considerar, al momento de implementar y gestionar una estrategia de innovación, tiene que ver con el riesgo de inversión y las barreras que

se imponen en el cambio tanto organizacionales como culturales, entendiendo esto como un desafío y proyección a corto y largo plazo, para tecnologías nacientes.

En base a lo antes expuesto, se buscará realizar un análisis de los aportes, beneficios y barreras que se presentan en la implementación de Inteligencia Artificial como asistente en el diagnóstico por imágenes médicas.



Índice

Resumen Ejecutivo	5
Capítulo 1: Introducción	10
1.1. Contexto actual	10
1.2. Identificación del problema	11
1.3. Objetivos	12
1.3.1. Objetivo general	12
1.3.2. Objetivos específicos	12
1.4. Hipótesis	12
Capítulo 2: Metodología de Investigación	14
2.1. Paradigma y Metodología de Investigación	14
2.2. Instrumentos	14
2.3. Técnicas de recolección de información	15
2.4. Recolección de información	15
2.4.1. Selección de entrevistados	15
2.4.2. Estructura de la entrevista	16
Capítulo 3: Marco teórico	17
3.1. Inteligencia Artificial	17
3.1.1 Tipos de Inteligencia Artificial	18
3.1.2. Inteligencia artificial según su objetivo	19
3.1.3. Enfoques de la Inteligencia Artificial	21
3.1.4. Factores que impulsan la Inteligencia Artificial en la actualidad	22
3.1.5. Aplicaciones de la Inteligencia Artificial en salud	23
3.2. Big Data	25
3.2.1. Características distintivas de Big Data	26
3.3. Machine Learning	28

3.3.1. Tipos de Aprendizaje automático	29
3.3.2. Modelos Predictivos con Aprendizaje Automático	33
3.3.3. Redes neuronales Artificiales	34
3.3.4. Deep Learning	35
3.4. Ética en Inteligencia Artificial.....	37
3.4.1. Principios éticos en Inteligencia Artificial	39
3.5. Inteligencia Artificial en Salud	41
3.5.1. Primera aplicación médica con Inteligencia Artificial	41
3.5.2. Ética en Inteligencia artificial en salud.....	42
3.5.3 Inteligencia Aumentada en Salud.....	44
Capítulo 4: Desarrollo	46
4.1. Aportes de la Inteligencia Artificial en la mejora del diagnóstico por imágenes	46
4.2. Innovación médica con Inteligencia Artificial.....	48
4.3. Caso de estudio: IBM Watson.....	50
4.4. Caso de estudio: Med-PaLM.....	52
4.5. Medicina de precisión impulsada por Inteligencia Artificial.....	53
4.6. Aporte de Inteligencia Artificial para el diagnóstico de cáncer.....	55
4.7. Elección del tratamiento médico con Inteligencia Artificial.....	56
4.8. Reducción de falsos positivos con algoritmos de Inteligencia Artificial	58
4.9. Oportunidades y desafíos de Inteligencia Artificial en Salud.....	59
4.10. Solución a incertidumbre.....	62
4.11. Barreras en la implementación de Inteligencia Artificial.....	63
4.12. Creación de una nueva cultura de trabajo con Inteligencia Artificial	66
Capítulo 6: Anexos.....	74
Anexo 1: Guía de preguntas para entrevista	74
6.1. Entrevista #1: Lisandro Paganini	75

6.2. Entrevista #2: Daniel Mysler	77
6.3. Entrevista #3: Mariano Portillo.....	79
6.4. Entrevista #4: Alejandra Salgado.....	84
6.5. Entrevista #5: Fernando Lozada.....	87
6.6. Entrevista #6: Médica Especialista en Diagnóstico por Imágenes	89
6.7. Entrevista #7: Antonella Ovando.....	91
Capítulo 7: Bibliografía.....	95



Universidad de
San Andrés

Capítulo 1: Introducción

1.1. Contexto actual

Hace tiempo que las noticias sobre el desarrollo de nuevas tecnologías hacen referencia a la Inteligencia Artificial, considerando su amplio espectro de utilización y la revolución que esta traerá en la sociedad. En el ambiente de la salud, esta nueva tendencia se encuentra atravesando tanto el desarrollo de la ciencia, como la tecnología. Dando un giro en el entorno laboral, la Inteligencia Artificial se encuentra asistiendo en la detección de patologías o diagnósticos por imágenes, para luego indicar un tratamiento para su cura (Martínez Elebi, 2021).

Entendiendo la Inteligencia Artificial como cualquier tipo de sistema, codificado por el hombre, que muestra un comportamiento complejo con la finalidad de asistir en el logro de objetivos, es que su implementación, como soporte en el ámbito de la salud y asistencia médica, es un tema que no solo viene creciendo, sino que, además, a nivel global, vienen marcando la agenda de los últimos tiempos (Stanford Encyclopedia of Philosophy, 2020). Un campo que se encuentra conformado por diversas técnicas, que busca resolver problemas, tomando decisiones de la misma forma que lo haría una persona (Martínez Elebi, 2021).

En estos últimos años y debido al alarmante nivel de propagación del Covid-19, la inteligencia artificial se presentó como un impulsor de la transformación y el cambio en el rubro de la salud, algo que se suponía inaudito y que, hoy en día, terminaría marcando inexorablemente el futuro de la persona, hasta incluso mejorarlo de una manera sostenible en el tiempo.

La rápida expansión del virus SARS-CoV-2 trajo aparejado un colapso de todos los servicios sanitarios a nivel mundial. Bajo esta situación, las tecnologías nacientes y aquellas que se venían afianzándose tomaron un papel relevante, especialmente en la gestión médica. En este contexto, la adopción de diversos recursos tecnológicos se vio acelerada (Bonales ed al, 2020). Esta demanda de agilidad y velocidad en el diagnóstico fue atendida por la Inteligencia Artificial y

Machine Learning. Con la comparación de estudios y bajo supervisión médica, estos sistemas, de apoyo y asistencia a profesionales, puede, bajo algoritmos matemáticos específicos, realizar un diagnóstico con una precisión del 83% y proponer una planificación de tratamiento (Greenstein et al, 2021).

La tecnología, en situaciones de crisis, ha logrado demostrar ser una pieza fundamental y, más aún, cuando puede asistir en el momento en que la salud, a nivel mundial, se ve afectada (Bonales ed al, 2020). Asumiendo un rol esencial, debido a su gran potencial, la Inteligencia Artificial se presenta como una de las principales herramientas tecnológicas más utilizadas, como apoyo para médicos radiólogos (González Alarcón & Pombo, 2020).

1.2. Identificación del problema

Según la OMS (Organización Mundial de la Salud) la Inteligencia Artificial ofrece múltiples oportunidades y expectativas para mejorar tanto la atención de salud del paciente como la medicina a nivel global. Uno de los puntos clave, para la que se puede utilizar esta tecnología, es la mejora en la velocidad y precisión en el diagnóstico y la detección de enfermedades, la mejora en la atención clínica. Sumado a esto, facilitará el acceso al servicio médico a países de bajos recursos, derribando las barreras que se les presentan a pacientes con dificultad para acceder o consultar un profesional de la salud.

Los sistemas de Inteligencia Artificial en la atención sanitaria se dividen en tres grandes categorías. La primera de ellas en soluciones algorítmicas, compuestas por algoritmos de consenso que verifican entre múltiples historias clínicas electrónicas las diferentes alternativas de tratamiento, recomendando la combinación que más se adecua al paciente. La segunda en el tratamiento de imágenes, donde la predicción automática brinda su aporte como apoyo en el diagnóstico, que por medio de software de reconocimiento realiza una comparación entre miles de imágenes, con una precisión superior al 10% del promedio médico. Por último, las herramientas de apoyo en las prácticas médicas, donde se procesan

históricas clínicas electrónicas para obtener estadísticas sobre enfermedades, tratamientos o detección de errores (Moreno y Diaz, 2019).

En este trabajo de investigación, se hará foco en este segundo punto, trabajando en los aportes de la inteligencia artificial y machine learning como asistente médico en el diagnóstico por imágenes.

1.3. Objetivos

1.3.1. Objetivo general

Analizar los aportes, beneficios y barreras en la implementación de inteligencia artificial como asistente en el diagnóstico por imágenes médicas.

1.3.2. Objetivos específicos

Describir los aportes de la Inteligencia Artificial en mejorar la precisión y reducción de tiempos en el diagnóstico por imágenes.

Determinar las ventajas que los médicos radiólogos obtienen del uso de Inteligencia artificial y la manera en que utilizan esta tecnología.

Identificar las barreras que enfrenta el personal de salud en el proceso de implementación y adopción de tecnologías emergentes, basado en opiniones y experiencias de referentes.

Perspectiva a futuro.

1.4. Hipótesis

La utilización de Inteligencia Artificial y Machine Learning como asistente para el diagnóstico por imágenes médicas mejora la productividad, reduciendo los tiempos de análisis, procesamiento y toma de decisión, obteniendo como

resultado un informe de mayor precisión y certeza, considerando las implicancias éticas relacionadas con la privacidad de datos y la transparencia.



Universidad de
San Andrés

Capítulo 2: Metodología de Investigación

2.1. Paradigma y Metodología de Investigación

Con el fin de especificar detalles de la aplicación de Inteligencia Artificial en salud, orientada al diagnóstico por imágenes médicas, el trabajo se basará en una metodología del tipo exploratoria, para lograr destacar los aspectos esenciales a la problemática presentada.

Con respecto al paradigma, se trabajará con uno cualitativo, sacando provecho del análisis de fuentes primarias y secundarias, observando el trabajo de los médicos radiólogos y aprovechando la situación para entrevistar y poder obtener el mayor aprendizaje.

Presenciar la actividad de médicos, cuyo trabajo está abocado al diagnóstico por imágenes, permitirá comprender la función que cumplen y como la solución de Inteligencia Artificial y Machine Learning puede favorecer su trabajo diario, siendo un socio estratégico en la toma de decisiones.

2.2. Instrumentos

Para la recolección de datos, basado tanto en fuentes primarias como secundarias, y su futuro análisis, se hará foco en:

- Tesis de posgrado donde se trabajen los temas de Inteligencia Artificial y Machine Learning.
- Publicaciones y artículos científicos, donde el foco de estudio sea la Inteligencia Artificial y Machine Learning orientado a la salud.
- Publicaciones de revistas como Harvard Business Review, IA & Business, Healthcare.

- Participación de seminarios como: “Artificial vs Human Intelligence” y “Simposio de Informática Oncológica”.

2.3. Técnicas de recolección de información

Las entrevistas realizadas fueron de carácter semi estructurado, partiendo de un tema y pregunta base, con un cierto marco para poder contar con una mejor estructura de la mismo, dando la posibilidad a los entrevistados a brindar sus opiniones y ampliar en el tema, basándose en sus conocimientos y experiencia.

Las respuestas del encuestado dieron la posibilidad de preguntas adicionales, permitiendo de esta manera lograr cubrir en profundidad el área específica.

2.4. Recolección de información

2.4.1. Selección de entrevistados

Para la elección de los entrevistados, se hace foco en una selección de profesionales idóneos en el tema. Sumado a esto, será de suma importancia que se encuentren trabajando en empresas que hayan implementado un software con soporte por medio de Inteligencia Artificial.

Al ser el resultado de la utilización de Inteligencia Artificial, como asistente en el diagnóstico por imágenes médicas, el tema principal de interés en este trabajo de investigación no será tomado en consideración el desarrollo del software o su implementación tecnológica.

En la tabla a continuación se detalla el listado de personas encuestadas.

Nombre y Apellido	Puesto	Empresa
Alejandra Salgado	Staff Médico de Diagnóstico por Imágenes	IAF
Lisando Paganini	Sub Jefe de Diagnóstico por Imágenes	IAF
Daniel Mysler	Jefe de Diagnóstico por Imágenes	IAF
Fernando Lozada	Staff Médico de Diagnóstico por Imágenes	IAF
Staff Médico	Staff Médico de Medicina Nuclear	IAF
Mariano Portillo	Coordinar Técnico de Medicina Nuclear	IAF
Antonella Ovando	Especialista Técnica en Data & IA	IBM

2.4.2. Estructura de la entrevista

El enfoque de las entrevistas es cualitativo, donde los entrevistados brindaron sus opiniones basadas en conocimiento y experiencia, acerca de la utilización de sistemas de Inteligencia Artificial en sus respectivos procesos. Además, se detallaron los principales desafíos a los cuales se enfrentan al momento de la implementación y utilización de la Inteligencia Artificial como asistente en la toma de decisiones. Sumado a esto, brindaron su opinión acerca de la adaptación de sus respectivas carreras profesionales, indicando el nivel de importancia que le darían a la utilización de la Inteligencia Artificial y el manejo de datos en el ámbito académico.

Capítulo 3: Marco teórico

3.1. Inteligencia Artificial

La inteligencia se define como la capacidad de resolver problemas, buscando comprender, razonar, planificar, memorizar y hasta llegar a un pensamiento abstracto de la situación. Lo antes mencionado se logra, desarrollando habilidades conductuales y cognitivas permitiendo una rápida adaptabilidad al entorno físico y social. (Ardilla, 2010).

Si bien no existe una definición consolidada en base al término de Inteligencia Artificial, que goce de unanimidad de autores, todos ellos llegan a un acuerdo entendiéndose que se trata de imitar la inteligencia del ser humano en máquinas y sistemas informáticos. Todos estos procesos tienden a incluir el aprendizaje, razonamiento y autocorrección. (DataScientest, 2022).

El legendario matemático Alan Turing, para el año 1950, dio respuesta a una de las preguntas que suscitaba en mente de muchos: ¿puede una computadora pensar?. En sus múltiples pruebas, conocidas como las pruebas de Turing, llegó a la conclusión que, una máquina era capaz de pensar siempre y cuando sus resultados fueran tan convincentes que una persona no lograra distinguir entre las respuestas de la máquina y las de un ser humano real (Blakemore, 2023).

Otro de los conceptos y trabajos realizados por Turing se basaron en la comparación de la mente humana con una máquina, proponiendo que con el correr del tiempo las máquinas serían capaces de enseñarse unas a otras. Aunque en su momento y con la tecnología que disponían esto solo era un concepto, hoy es la base del aprendizaje automático y la inteligencia artificial moderna (Blakemore, 2023).

El término de Inteligencia Artificial le fue atribuido al informático norteamericano John Patrick McCarthy, quien lo acuñó durante una conferencia en Dartmouth, en el año 1956, cuando realizaba conjeturas que indicaba que llegaría el día que se proporcionaría información tan exacta y precisa, que existiría la posibilidad de emular los pensamientos propios de una persona. (Rouse, 2021).

En la actualidad, el concepto conocido como la prueba de Turing ha vuelto a cobrar importancia, ya que se sostiene que la nueva generación de Inteligencia Artificial es capaz de superar las pruebas realizadas por el matemático (Blakemore, 2023).

Hoy en día, los avances tecnológicos vienen sucediendo a una gran velocidad, logrando en conjunto con la inteligencia artificial la automatización y optimización de los procesos de producción y negocios, con aplicaciones que mejoran la productividad y seguridad, dando como resultado un incremental en la velocidad de los flujos de trabajo (Hernández, 2022).

3.1.1 Tipos de Inteligencia Artificial

Como expresa Cortina A. (2019), desde un punto de vista teórico y basado en capacidades, se han definido tres tipos de inteligencias artificiales:

- Superior o súper inteligencia (*Artificial Super Intelligence*).

Haciendo referencia a una inteligencia que supera a la humanidad, hasta el punto donde las mismas máquinas sustituirán al hombre, formando una nueva especie superior. Hasta el día de hoy, no existe ningún ejemplo de la misma.

- General o Humana (*Artificial General Intelligence*).

Donde se aspira que las máquinas puedan contar con una inteligencia similar a la humana.

- Específica (*Artificial Narrow Intelligence*).

Actualmente conocida como Inteligencia Artificial, donde se utilizan grandes volúmenes de información y algoritmos sofisticados, permitiendo realizar tareas concretas o repetitivas de forma más eficiente. Es la persona quien opta por la utilidad de la misma y la implementación que se llevará a cabo.

Una segunda categoría de inteligencia artificial, descrita por HP en su artículo sobre Inteligencia Artificial (s.f.), basada en funcionalidad se ha definido:

- Máquina reactiva.
No cuenta con un poder de memorizar, como tampoco de aprender de las acciones vivas/pasadas.
- Teoría limitada.
Al contar con memoria, utiliza información pasada para la toma de decisiones.
- Teoría de la mente.
Tiene por objetivo la comprensión profunda de la mente humana. Este tipo de Inteligencia Artificial se encuentra en etapa de desarrollo.
- Inteligencia Artificial autoconsciente.
Su finalidad será la de entender y replicar emociones humanas, como también tener las propias. Este tipo de Inteligencia Artificial es hipotética.

3.1.2. Inteligencia artificial según su objetivo

- Inteligencia artificial discriminativa

La Inteligencia Artificial discriminativa es una rama de la inteligencia artificial que tiene foco en el desarrollo de algoritmos y modelos que son capaces de realizar tareas específicas de clasificación como también de predicción directa. Este tipo de inteligencia se centra en el análisis e interoperabilidad de datos existentes para poder tomar decisiones basadas en estas (Granieri, 2023).

Los modelos de inteligencia artificial discriminativa analizan las características o variables de entradas y las relaciona con una salida o categoría específica. Estos modelos son entrenados utilizando algoritmos de aprendizaje supervisado, donde se alimentan con ejemplos etiquetados, para que cuenten con la capacidad de predecir la correcta salida para nuevas instancias de datos (Hernández, s.f.).

Aprendiendo una única propiedad a partir de datos, este tipo de modelos son utilizados para el reconocimiento de la voz, diagnóstico médico, análisis de sentimientos, detección de fraudes y traducción automática. Estos modelos tienen como base la idea de capturar y aprender las relaciones y patrones existentes en los datos, para luego aplicar ese conocimiento en la toma de decisiones o realizar predicciones (Grillo, 2023).

- Inteligencia artificial generativa

La Inteligencia Artificial Generativa es una rama de la inteligencia artificial que tiene foco en la generación de nuevo contenido e información, en lugar de realizar tareas específicas o responder a preguntas basadas en datos preexistentes. En lugar de limitarse a patrones y correlaciones existentes en un conjunto de datos, los modelos generativos pueden aprender y capturar la estructura subyacente de los datos para generar nuevas muestras (Granieri, 2023).

Los modelos generativos utilizan algoritmos y técnicas avanzadas, para aprender de un conjunto de datos y permitir producir nuevas instancias que serán coherentes con las características y distribución de los datos con los que fue entrenado (Del Alcazar Ponce, s.f.).

La Inteligencia Artificial Generativa tiene aplicaciones en múltiples áreas, como es el caso de la generación de imágenes realistas, creación de contenido, aumento de datos, el diseño de productos, la creación piezas artísticas, medicina y biología. Además de la generación de datos, la Inteligencia Artificial Generativa también es utilizada para el perfeccionamiento de otras sistemas o aplicaciones inteligentes, como el aumento de la calidad de los datos o la mejora de la eficiencia y precisión de los modelos predictivos (Del Alcazar Ponce, s.f.).

3.1.3. Enfoques de la Inteligencia Artificial

Cómo define Romero et al. (2007), la Inteligencia Artificial puede ser tratada desde el punto de vista tecnológico como también desde el punto de vista científico. En el primer caso, se busca que los sistemas realicen tareas donde se requiere una inteligencia precisa, sin limitaciones técnicas en su utilización. En el siguiente caso, se define como el estudio del comportamiento inteligente, donde se busca una explicación de la conducta del ser humano para luego poder replicarla en sistemas que puedan proceder de forma inteligente.

Según lo expresado por Corporación Core (2023), los principales enfoques de Inteligencia Artificial que fueron tendencia durante el año 2022 y continúan desarrollándose a lo largo del año 2023 podemos mencionar:

1. *Automated machine learning*

Estas plataformas hacen posible el acceso de cualquier persona a los beneficios que proporciona la Inteligencia Artificial, democratizando el proceso y reduciendo el error humano. Con la asistencia del aprendizaje semi y auto supervisado, es posible multiplicar por tres la producción de modelos en comparación a un esquema tradicional, logrando una reducción de costos.

2. *Low code machine learning*

La creación de herramientas personalizadas, por parte de los usuarios, es posible gracias a la simplicidad de la interfaz, la cual no requiere de una codificación compleja. Al no requerir de habilidades tecnológicas, esto trae aparejado un ahorro en cuanto a lo económico, como así también en tiempo.

3. *Machine learning operationalization management*

Trata de un conjunto de prácticas que se enfocan en la implementación y mantenimiento confiable y eficiente de modelos de Inteligencia Artificial en las empresas. Su objetivo principal es mejorar la calidad y la automatización de los modelos desplegados.

4. Reinforcement learning

Su implementación se focaliza en la resolución de problemas en donde intervienen dispositivos robóticos. Se enfoca en la búsqueda del mejor camino, dentro de una variedad de posibilidades, para la ejecución de un mismo proceso.

5. Robotic Process Automation & Process mining

Permite la automatización de cualquier proceso repetitivo, optimizando el tiempo y trabajo de las personas. Para una mayor eficiencia y evitar fallas en el proceso, la totalidad de los pasos deben definirse de forma correcta. Por otro lado, *process mining* identifica aquellos procesos donde el consumo de tiempo humano es mayor.

6. Generative Artificial Intelligence

Produce complejos modelos de Inteligencia Artificial que permiten predecir las siguientes palabras, basándose en secuencias anteriores. Entre sus habilidades se encuentra la capacidad de producir texto, imágenes, voz, etc.

7. Tiny Machine Learning

Este enfoque tiene como objetivo desarrollar modelos de inteligencia artificial que puedan utilizar equipamiento con restricciones en su hardware. Sus algoritmos se encuentran diseñados para la optimización del consumo de recursos, manteniendo de esta forma una elevada eficiencia.

3.1.4. Factores que impulsan la Inteligencia Artificial en la actualidad

Por medio de sistemas informáticos que asisten y dan soporte en la decisión médica, el concepto de Inteligencia Artificial ha ido evolucionado con el correr del tiempo. Bajo múltiples promesas y realidades, y con apoyo de los distintos sistemas, la Inteligencia Artificial ha logrado vincularse con las diferentes áreas de la medicina y salud.

En la actualidad hay dos factores que son fundamentales para el impulso de la Inteligencia Artificial (Bonis et al, 2004).

En primera instancia, la era del big data permite la generación y recolección de una cantidad masiva de datos que son parte de nuestra vida cotidiana en su sentido más amplio. En el caso de lo referido a información o datos de salud, las posibilidades crecen de forma exponencial, tanto en lo relacionado con fuentes más tradicionales del sector sanitario que han sido digitalizadas, como en la Historia Clínica Electrónica (HCE) de sus pacientes, que pueden contener además datos de ensayos clínicos, resultados de laboratorio, informes de diagnósticos por imágenes y evolución de alguna enfermedad (Cotino Hueso, 2017).

En segunda instancia, la cantidad de datos con la que se cuenta no puede ser trabajada, analizada y procesada por medio de mecanismos o procesos tradicionales. Desde este punto de vista, el desarrollo de la tecnología actual permite que esos datos sean objeto de un tratamiento automatizado por medio de modelos algorítmicos complejos, con el objetivo de generar correlaciones, tendencias y patrones, permitiendo extraer valor que puede ser económico o social de esos datos para su futura utilización y estudio (Garriga Domínguez, 2018).

La conjunción de estos dos factores nos lleva a considerar una nueva forma en la que se genera el conocimiento, entre los que se destaca el Machine Learning o aprendizaje automático. La finalidad de la Inteligencia Artificial es lograr que los sistemas informáticos desarrollen procesos lógicos que sean semejantes al pensamiento y razonamiento humano. Este campo de estudio busca emular y detallar el comportamiento inteligente en términos de procesos computacionales (Del Río Sola et al, 2018).

3.1.5. Aplicaciones de la Inteligencia Artificial en salud

Desde que las máquinas comenzaron a interactuar con las personas, el trabajo es uno de los principales ámbitos que han cambiado. Como define José Pablo Hernandez (2022), las aplicaciones existentes para Inteligencia Artificial se basan en las siguientes tecnologías:

- Automatización de procesos.

- Sistemas Colaborativos.
- Procesamiento natural del lenguaje.
- Aprendizaje automático a gran escala.
- Aprendizaje profundo.
- Visión de computadora.
- Teoría algorítmica de los juegos.
- Ciencias sociales computacionales.

En el ámbito de la salud, es común encontrarse con soluciones informáticas que no se basan en algoritmos que aprenden y se enriquecen de los datos. En su lugar, se utilizan sistemas que son creados en forma colaborativa con médicos o expertos en salud, aprovechando su conocimiento, con el objetivo de mejorar la atención médica y ofrecer soluciones más efectivas y personalizadas para los pacientes. En la actualidad, se están desarrollando algoritmos de Inteligencia Artificial que permiten que las máquinas aprendan de los datos y cuenten con la capacidad de toma de decisión con mayor precisión (Medinaceli Díaz et al, 2021).

Medinaceli Díaz, en su artículo comenta que existen tres categorías de aplicaciones de Inteligencia Artificial en la atención médica. En primer lugar, las soluciones algorítmicas, las cuales combinan algoritmos de consenso entre expertos en el campo con los datos de sus historias clínicas electrónicas, para verificar diferentes alternativas de tratamiento y optar por la mejor combinación para el paciente.

En una segunda categoría, el tratamiento por imágenes, donde el potencial de la predicción automática se refleja en situaciones donde el ojo humano no logra el resultado esperado, incluso en los mejores clínicos. El sistema de reconocimiento, mediante visión artificial, puede comparar un sinnúmero de imágenes, utilizando las mismas técnicas que los médicos, y se ha llegado a la conclusión que es entre un 5% y un 10% más preciso que el médico promedio.

La tercera y última categoría, las herramientas de apoyo a la práctica médica, como los programas que procesan historias clínicas. Este sistema tiene el potencial de examinar miles de registros médicos con el fin de extraer estadísticas sobre enfermedades o tratamientos, detectando errores, normalizar expresiones y terminología en los informes. En resumen, la Inteligencia Artificial está transformando la atención médica al mejorar la precisión y eficiencia en el diagnóstico y tratamiento de los pacientes (Medinaceli Díaz et al, 2021).

3.2. Big Data

Según Mayer-Schönberger y Cukier (2013), Big Data es considerada como una tendencia en el avance de la tecnología que abrió las puertas a un nuevo enfoque facilitando la comprensión y la toma de decisiones. Este concepto nace y es utilizado para describir las grandes cantidades de datos estructurados, no estructurados y semi-estructurados, que, de otra forma, sería demasiado costosa su carga en una base de datos relacional para luego proceder a su análisis.

Sumado a lo antes expuesto, el término Big Data se utiliza para referirse a la información que no puede ser procesada o analizada de manera eficiente utilizando herramientas y procesos convencionales. De esta forma, Big Data representa una nueva forma de abordar el análisis de datos permitiendo a las empresas o entidades obtener información valiosa de grandes conjuntos de datos que de otra manera serían inaccesibles (Gandomi y Haider, 2015). El objetivo final de esta tecnología es aportar y descubrir un conocimiento oculto a partir de grandes volúmenes de datos (Puyol, 2014).

Big Data y sus procesos cuentan con diversas y amplias aplicaciones. Sin embargo, la inversión en Big Data presenta desafíos que se originan especialmente en proyectos que implican la toma de decisiones basada en grandes volúmenes de datos, la definición de estrategias y la mejora de la experiencia en el uso de estas tecnologías (Marr, 2015).

El principal desafío que se le presenta a Big Data consiste en buscar, capturar, almacenar, compartir y dar un aporte de valor a los datos poco utilizados o inaccesibles. Lo que se tiene en consideración es el valor potencial, que sólo las nuevas tecnologías especializadas en Big Data pueden explotar. Big Data representa una oportunidad para obtener el mayor rédito posible de los datos y sus ventajas competitivas en el mercado (Davenport y Dyche, 2013).

Big data originalmente se componía de tres características distintivas, conocidas como las tres Vs, el volumen, la velocidad y la variedad, definición que fue acuñada por Doug Laney, de la consultora Gartner. Con el impulso de nuevas tecnologías, los usuarios requerían de nuevas definiciones que los diferenciara de tecnologías anteriores. Bajo esta premisa, las características distintivas se han ido incrementando hasta llevarlas a un total de siete Vs, incluyendo la visibilidad, el valor, la validez y la veracidad (Puyol, 2014).

3.2.1. Características distintivas de Big Data

Si bien no hay un consenso de la cantidad de Vs que se deben tomar en consideración, y sumado a esto, su lista se ha ido incrementando, para explicar las características más distintivas de Big Data, se recurre a las definiciones expuestas por Amir Gandomi & Murtaza Haider (2014) que define las siete Vs de Big Data de la siguiente manera.

El Volumen, como la característica que más se asocia al Big Data, hace referencia a la cantidad de datos que son generados y almacenados, para que luego sean procesados, permitiendo de esta forma la toma de decisiones y transformar los datos en acciones (Gandomi & Haider, 2014).

La Velocidad, es una característica que se asocia con la creciente rapidez en la generación, almacenamiento y procesamiento de los datos (Sohaib Ali et al., 2019). Como muchos de los datos se estudian en tiempo real, esta se convierte en una de las características fundamentales de Big Data, ya que permite que las decisiones que se tomen sean las más correctas y precisas. Sumado a esto, el

procesamiento en tiempo real reduce los requisitos de almacenamiento, proporcionando una mayor capacidad de respuesta (Rajnish Singh, 2015)

La Variedad, hace referencia a los múltiples conjuntos de datos que son recogidos y registrados. Los avances tecnológicos han permitido a las empresas utilizar varios tipos de datos estructurados, semiestructurados y no estructurados, donde el último tipo constituye el 90% de la totalidad de datos generados (Sohaib Ali et al., 2019).

La Veracidad, término que fue acuñado por IBM como cuarta V para representar la falta de fiabilidad inherente a determinadas fuentes de datos. La necesidad de lidiar con datos imprecisos o inciertos es una de las facetas de Big Data, que es abordada con la utilización de herramientas y análisis, desarrollados para la gestión y extracción de datos inciertos (Medinaceli Diaz y Diaz Silva Choque, 2021).

La Variabilidad y Complejidad, es un término introducido por SAS como dos dimensiones adicionales de Big Data. La variabilidad hace referencia a la variación en las tasas de flujo de datos. Por otro lado, la complejidad se refiere al hecho de que los grandes datos se generan a partir de un gran número de fuentes. Esto implica un desafío crítico en la necesidad de combinar, conectar, limpiar y transformar los datos que se reciben de diferentes fuentes (Gandomi & Haider, 2014).

La Visibilidad, tiene como objetivo convertir la gran masa de datos en gráficos. La finalidad de este es mostrar de forma dinámica y estructurada los valores de mayor relevancia e importancia. Es la capacidad de hacer comprensible la cantidad de datos, de modo que se encuentren patrones que permitan realizar investigaciones (Nosis, 2020).

El Valor, fue introducido por Oracle como un atributo determinante de Big Data. Los datos que se reciben en forma original suelen tener un valor bajo en relación con su volumen. Sin embargo, se puede obtener un valor alto analizando grandes volúmenes de dichos datos. El valor de los datos debe exceder el costo,

propiedad o administración. El verdadero valor de los datos es aquel que radica en los ojos del dueño o cliente de los datos comerciales (Khan et al., 2014).

3.3. Machine Learning

La definición de Arthur Samuel establece que Machine Learning es una técnica dentro de la Inteligencia Artificial que permite a las computadoras aprender sin ser explícitamente programadas. Sin embargo, este proceso complejo también involucra las definiciones y decisiones de la persona, por lo que puede derivar en resultados sesgados (Goodman & Flaxman, 2016).

Machine Learning es una rama en constante evolución de los algoritmos computacionales que están diseñados para emular la inteligencia humana, aprendiendo del entorno circulante. Las técnicas de Machine Learning que han sido exitosamente implementadas en diversos campos, van desde el reconocimiento de patrones, la visión por computadora, la ingeniería de naves espaciales, las finanzas, el entrenamiento y aplicaciones médicas y biomédicas (El Naqa et al., 2015).

Las Redes Neuronales Artificiales, basan sus algoritmos en la estructura y funcionalidad del cerebro, son modelos computacionales capaces de procesar información imitando el funcionamiento de las neuronas biológicas (McCulloch & Pitts, 1943). Están conformadas por nodos o neuronas interconectadas en una red, encargadas de recibir, procesar y transmitir información. Su objetivo es lograr que los sistemas funcionen de manera similar al cerebro humano, permitiendo el aprendizaje y el pensamiento (Rumelhart, Hinton, & Williams, 1986).

La técnica de machine learning es utilizada para enseñar a las computadoras a realizar determinadas tareas sin un conjunto de reglas o sentencias preconfiguración que obliguen al sistema a actuar de una manera predeterminada. En otros términos, Machine Learning es la técnica utilizada para desarrollar y mejorar la inteligencia artificial en las computadoras a través de sesiones de enseñanza y aprendizaje, lo que se conoce como entrenamiento. Esto se logra

exponiendo constantemente a los sistemas a grandes conjuntos de datos, también conocidos como Big Data (Jordan & Mitchell, 2015).

3.3.1. Tipos de Aprendizaje automático

Según lo expuesto por Oracle, en su artículo sobre aprendizaje automático, en la actualidad existen dos tipos de algoritmos de aprendizaje automático y cuya diferencia radica en cómo cada uno de ellos aprende acerca de los datos, permitiendo de esta forma realizar predicciones.

Por un lado, el aprendizaje automático supervisado donde el científico de datos actúa como guía, enseñando al algoritmo las conclusiones que debe obtener. Este algoritmo se entrena por medio de un conjunto de datos etiquetado y cuyo resultado está predefinido, pudiendo hacer predicciones conociendo las características.

Por otro lado, el aprendizaje automático no supervisado donde se tiene un enfoque más independiente. En este caso, el ordenador aprende e identifica procesos y patrones complejos, sin la guía o asistencia constante de una persona. Su entrenamiento se basa en datos que no tienen etiquetas, ni un resultado ya predefinido.

Finalmente, el aprendizaje por refuerzo donde los datos del sistema no se encuentran etiquetados, pero realizan acciones variadas y bajo cierto periodo. El sistema se encuentra retroalimentado por medio de actualizaciones (Ramírez, 2018).

La elección de un algoritmo de aprendizaje automático depende de los factores relacionados a la estructura, del caso al que se busca su aplicación y el volumen de datos. Este tipo de algoritmos ofrece asistencia en múltiples rubros y para diferentes objetivos, tales como:

- Clasificación de imágenes.
- Recomendaciones.

- Detección de anomalías.
- Valor de vida del cliente.

3.3.1.1 Aprendizaje automático supervisado

El aprendizaje supervisado utiliza algoritmos que tienen como objetivo el aprender de forma iterativa de los conjuntos de datos, permitiendo enseñar o entrenar a los modelos en la generación de salidas deseadas, como también en la realización de tareas específicas (Alpaydin, 2020).

Durante el proceso de aprendizaje, el algoritmo mide su precisión a través de la función de pérdida y luego procede a ajustar sus resultados hasta que el error sea minimizado por completo. Este proceso está basado en la suposición de que los datos de entrenamiento son representativos de los datos futuros (IBM, s.f.)

En el proceso de minería de datos, el aprendizaje automático supervisado se clasifica en dos tipos. Por un lado, la clasificación, que utilizando un algoritmo asigna con precisión los datos de prueba en su categoría específica. Mediante el reconocimiento de entidades específicas, el algoritmo intenta obtener conclusiones sobre cómo deberían etiquetarse o definirse estas entidades. Entre los algoritmos más comunes se hayan los clasificadores lineales, los árboles de decisión, bosques aleatorios y los k vecinos más próximos. Por otro, la regresión, que es utilizada para comprender la relación entre variables dependientes e independientes, con el objetivo de generar proyecciones. Entre los algoritmos más comunes se hayan la regresión polinómica, lineal y logística (IBM, s.f.).

3.3.1.2. Aprendizaje automático no supervisado

El aprendizaje no supervisado utiliza algoritmos de Machine Learning que tienen como objetivo analizar y agrupar en cluster, los conjuntos de datos sin etiquetar, para intentar comprenderlos por su cuenta, sin una retroalimentación externa (Alpaydin, 2020).

Según Apaydin (2020), el aprendizaje no supervisado es una técnica que se basa en el análisis y procesamiento de grandes volúmenes de información para determinar contextos, patrones y similitudes entre los datos. Este proceso se lleva a cabo mediante diferentes procedimientos.

Por un lado, uno de los procedimientos de mayor utilización en el aprendizaje no supervisado es el clustering o análisis de grupos. En esta técnica, los algoritmos se encargan de agrupar los datos de manera autónoma según las similitudes y patrones que comparten. Una vez que los grupos han quedado conformados, se asignan a los datos según las características que comparten (Hastie et al., 2008).

Otro procedimiento utilizado en el aprendizaje no supervisado es la asociación. En esta técnica, el sistema combina los algoritmos basándose en los atributos que comparten, permitiendo de esta forma un ordenamiento de los datos y encontrando una relación entre objetos (Apaydin, 2020).

Según IBM (s.f.), entre las aplicaciones prácticas más comunes del aprendizaje no supervisado se encuentran:

- **Visión computacional:** donde los algoritmos son utilizados para tareas de percepción visual, como puede ser el caso de reconocimiento de objetos.
- **Imágenes médicas:** proporcionando funciones básicas de creación de imágenes a los diferentes equipos, como es el caso de la detección, la clasificación y segmentación de imágenes, que serán utilizadas en radiología y anatomía patológica para diagnosticar pacientes con un mayor grado de precisión.
- **Detección de anomalías:** el modelo cuenta con la capacidad de analizar un gran volumen de datos, descubriendo puntos de datos anómalos. Dichas anomalías pueden coincidir con errores humanos, equipos que presentan fallas o brechas de seguridad.

3.3.1.3. Aprendizaje por refuerzos

El aprendizaje por refuerzo es un enfoque de aprendizaje automático en el que un agente aprende a tomar decisiones en un entorno incierto, a través de las interacciones con ese entorno. En este enfoque, el agente orienta su propio aprendizaje por medio de recompensas y castigos, es decir, un sistema de instrucciones autónomo cuyo camino se forma a través de errores y aciertos (Sutton, 2018).

Al contar con un aprendizaje empírico, el agente se encuentra en la búsqueda constante de las decisiones que premien el acierto, evitando aquellos caminos que derivan en un error y penalidad. De esta forma, el agente aprende a maximizar su recompensa en el entorno a través de la toma de decisiones (Sutton, 2018).

En el aprendizaje por refuerzos, uno de los desafíos más importantes radica en encontrar el equilibrio adecuado entre la exploración y la explotación. Para obtener un gran número de recompensas, el agente de aprendizaje por refuerzos debe preferir acciones que ha probado en el paso y que encontró efectivas logrando la recompensa. Sin embargo, para descubrir nuevas acciones que puedan ser aún más efectivas, el agente debe probar caminos que no ha seleccionado con anterioridad. De esta manera, el agente tiene que explorar lo que ya ha experimentado para obtener una recompensa, pero también tiene que explorar para lograr una mejor selección de acciones a futuro (Sutton, 2018).

Este dilema de exploración-explotación es un problema fundamental en el aprendizaje por refuerzo, ya que ninguna de las dos estrategias puede ser perseguida exclusivamente sin fallar en la tarea. Por lo tanto, el agente debe probar una variedad de acciones y progresivamente favorecer aquellas que parecen ser las mejores, encontrando así el equilibrio adecuado tanto en la exploración como en la explotación (Sutton, 2018).

3.3.2. Modelos Predictivos con Aprendizaje Automático

Con los modelos estadísticos clásicos, en la mayoría de los casos, se permite inferir asociaciones y lograr demostrar la causa efecto, con una correcta metodología y evidencia que lo sustente. En salud, basándose en evidencias y respaldando sus hallazgos en los modelos, se comienza por una hipótesis que permita buscar los datos para lograr demostrar o descartar lo propuesto. De esta forma es que se elaboran los modelos predictivos confiables en salud y que genere un impacto positivo en la práctica clínica (Mora Pineda, 2022).

Debido a la gran cantidad de datos que se encuentran almacenados en las historias clínicas electrónicas, y sumando el incremento en la potencia de procesamiento de información, las técnicas de aprendizaje automático lograron un papel clave en el desarrollo de nuevos análisis predictivos, junto con el reconocimiento de patrones previamente desconocidos. Con el cambio de perspectiva, la precisión y velocidad en la toma de decisiones han logrado una mejora, permitiendo introducirse en las prácticas clínicas diarias.

Varios métodos de aprendizaje automático se basan en la identificación de asociaciones fuertes en los datos, pero sin una base teórica, o conocido también como el modelo de la caja negra. Esta ambigüedad ha llevado a un progreso significativo en la identificación de factores causales modificables, que pueden llegar a influir en los resultados variables (Mora Pineda, 2022). Como indicó Daniel Mysler (2023), las predicciones en estos modelos suelen tener un alto porcentaje de precisión, sobre todo en aquellos que suelen ser una obviedad para el personal médico, aumentando la confianza clínica en la toma de decisiones impulsadas por la Inteligencia Artificial.

Es importante destacar que, a pesar de que los algoritmos predictivos no logran la eliminación de la incertidumbre en la toma de decisiones en el ámbito de la salud, si permiten mejorar, facilitar y optimizar la asignación de recursos para la atención médica. Por otro lado, los sistemas de alerta temprana cuentan con la posibilidad de aplicarse y optimizarse a partir de datos reales y a medida que estos ocurren (Mora Pineda, 2022).

Como expresa Mariano Portillo (2023), en la actualidad, los modelos predictivos que se basan en el aprendizaje automático dependen en gran medida de la experiencia profesional y clínica. Con el objetivo de reducir la subjetividad, se han desarrollado múltiples sistemas expertos que sirven como asistente médico, combinando y codificando el conocimiento e integrando las técnicas predictivas. Todo esto ayuda en la reducción del sesgo, aumentando el valor predictivo positivo y la precisión en el diagnóstico, como también proporcionando nuevos conocimientos médicos en las diferentes áreas de la salud. Por lo tanto, las predicciones cuyos resultados son cada vez más precisos, plantean un constante desafío en el proceso de atención clínica, en donde todas las aplicaciones de Inteligencia Artificial están siendo utilizadas.

3.3.3. Redes neuronales Artificiales

Las redes neuronales artificiales inspiran su modelo de algoritmo en las redes neuronales biológicas. Constituidas con una herramienta que posee la capacidad de aprender, generalizar y procesar de forma automática los datos, pone su foco en tareas destinadas a la clasificación y regresión (Hagan et al., 2014).

La clasificación tiene como objetivo organizar los datos de entrada en diversas clases, mientras que la regresión, también conocida como aproximación de función, tiene como objetivo predecir un parámetro de salida que se desconoce. Estas aplicaciones demuestran el potencial de las redes neuronales artificiales tanto en el reconocimiento de patrones, como en la predicción de comportamientos (Hagan et al., 2014).

A nivel esquemático, una neurona artificial está compuesta por una o más entradas, un peso de entrada, un bias, una función de activación y una salida. Una red neuronal artificial se encuentra formada por múltiples neuronas artificiales interconectadas entre sí, agrupadas en diferentes niveles, denominadas capas. (Hagan et al., 2014).

Estas capas son un conjunto de neuronas artificiales donde la entrada proviene de una capa anterior, y donde la salida será la entrada de una capa posterior. Aquellas capas que se encuentren entre la capa de entrada y salida se conocen como capas ocultas, ya que se desconocen los valores de las mismas (Garcia Olalla Olivera, 2019).

Una red neuronal artificial se encuentra compuesta por una capa de entrada y una de salida, conteniendo cero o más capas ocultas. La utilización de múltiples capas ocultas en las redes da lugar al concepto de Deep Learning (Garcia Olalla Olivera, 2019).

Como explica la empresa AWS, las redes neuronales artificiales, que requieren de una limitada asistencia humana, pueden ayudar a que las computadoras puedan tomar decisiones inteligentes. Esto se debe a que pueden aprender y modelar las relaciones complejas y no lineales entre los datos de entrada y salida.

3.3.4. Deep Learning

El Deep Learning o aprendizaje profundo se basa en los fundamentos teóricos de las Redes Neuronales Artificiales clásicas, pero utiliza un gran número de neuronas y capas ocultas. Sumado a esto, con nuevos modelos y paradigmas de entrenamiento, permite aumentar la capacidad de aprendizaje en la adaptación y extracción de datos de entrada de alta complejidad. Las Redes Neuronales Artificiales utilizadas en Deep Learning se conocen como Deep Neural Networks o Redes Neuronales Profundas (Schmidhuber, 2015).

Las redes neuronales que componen al Deep Learning, también conocidas como redes neuronales artificiales, utilizan una combinación de entrada de datos, ponderaciones y sesgos para intentar imitar el comportamiento del cerebro humano. Estos elementos que lo componen colaboran y trabajan en conjunto para lograr identificar, clasificar y describir con precisión los objetos que se encuentran presentes en los datos (IBM, s.f.).

Las redes neuronales profundas están formadas por varias capas de nodos que se conectan entre sí, sobre la capa anterior, para maximizar la optimización de la predicción o categorización. Las capas visibles de una red de Deep Learning incluye las capas de entrada y salida, en donde el modelo de aprendizaje profundo ingresa los datos para su procesamiento en la capa de entrada, mientras que la predicción o clasificación final se realiza en la capa de salida (IBM, s.f.).

Deep Learning elimina una parte del procesamiento previo que era requerido en Machine Learning, logrando diferenciarse por los métodos de aprendizaje utilizados como también el tipo de datos con los que trabaja. Con los nuevos algoritmos, se tiene la capacidad de ingerir y procesar datos no estructurados, como también imágenes y texto, reduciendo la interacción con expertos en el tema y aprendiendo de manera autónoma (Goodfellow et al., 2017).

Dado que los algoritmos de Deep Learning son de una gran complejidad por lo que existen diferente variedad de redes neuronales que aborden las problemáticas o conjuntos de datos específicos, entre los que se destacan:

- **Redes Neuronales recurrentes (RNN)**
Aprovecha datos de series temporales o secuenciales, exhibir un comportamiento dinámico, poseer memoria interna y mantener información pasada. Su utilización principal es en aplicaciones de lenguaje natural o reconocimiento de voz (Schmidhuber, 2015).
- **Redes Neuronales convolucionales (CNN)**
Permite detectar características y patrones de una imagen, facilitando tareas como la detección o el reconocimiento de objetos. Permite realizar operaciones complejas de forma sencilla. Su principal utilización es en aplicaciones de clasificación de imágenes y visión computacional (IBM, s.f.).
- **Deep multilayer perception (DMLP)**

Emplea un mayor número de neuronas y capas ocultas para lograr solucionar un problema en donde los datos de entrada y salida son de gran complejidad (Schmidhuber, 2015).

- Deep autoencoder (DAE)
Posee dos características principales en donde, la primera de ella hace referencia a la utilización de la misma cantidad de neuronas en la entrada y en la salida. La segunda hace referencia a la utilización de una menor cantidad de neuronas en las capas ocultas, respecto a las utilizadas en la entrada y salida.

3.4. Ética en Inteligencia Artificial

Al momento de considerar la incorporación de sistemas dentro de la organización o ámbito laboral, que operan bajo inteligencia artificial, es importante destacar la relevancia de dotar a esta tecnología con valores y principios. Como señalan Bryson y Winfield (2017), los desarrolladores que trabajan en esta área deben tener en consideración de las implicaciones morales y éticas que conlleva su labor. En este sentido, es esencial que estos profesionales consideren los aspectos éticos que puedan estar implicados en la utilización de esta tecnología en las organizaciones (Mittelstadt et al., 2016).

Por otro lado, respecto a la capacidad de los dispositivos con Inteligencia Artificial de operar de forma autónoma en los procesos, es conveniente destacar que la calificación de estos sistemas como autónomos resulta errónea, desde un punto de vista ético. Como indica Etzioni y Etzioni (2016), debido a que los sistemas inteligentes no logran dimensionar la implicancia de sus propios actos y decisiones como lo hacen las personas, no se cumpliría con los requisitos para que un dispositivo sea considerado autónomo en el sentido ético de la palabra. Por lo antes expuesto, desde una perspectiva ética, resultaría más apropiado referirse a estos dispositivos como automáticos, en lugar de considerarlos autónomos (Bryson & Winfield, 2017).

Según el término introducido por John Searle en 1980, la Inteligencia Artificial débil se enfoca en diseñar y programar ordenadores capaces de realizar tareas de forma inteligente, mientras que la Inteligencia Artificial fuerte busca replicar en máquinas la inteligencia humana, incluyendo la conciencia y la empatía, siendo capaces de comprender cada uno de sus actos y consecuencias (Villalba, 2020).

Para aquellos dispositivos y sistemas equipados con Inteligencia Artificial débil, la relevancia ética es relativamente fácil de determinar, dado que no se trata de una simetría con la conciencia humana. Estos dispositivos son desarrollados para realizar una tarea específica y carecen de una inteligencia general y autonomía estricta. Aunque superan la capacidad humana en tareas repetitivas o burocráticas, no pueden actuar de forma racional, por lo que su actividad no es éticamente imputable o cuestionable. En este tipo de sistemas, la responsabilidad ética de la solución recae sobre aquellos encargados de su diseño, desarrollo y funcionalidad, dado que estas aplicaciones solo cuentan con la posibilidad de operar de acuerdo con un único curso de acción (Floridi, 2011).

En el caso de dispositivos y sistemas dotados con Inteligencia Artificial fuerte, la relevancia ética resulta un poco más compleja. Por un lado, la creación de una máquina con estas habilidades, de Inteligencia Artificial general, no han podido ser desarrolladas y, por otro, la mente humana, hasta el momento, ha sido imposible de replicar. Hasta el momento, los intentos de desarrollar máquinas con capacidad de mostrar comportamientos inteligentes, en diferentes ámbitos, no han tenido éxito alguno (López de Mántara, 2015).

En ambos casos, la relevancia ética de los sistemas dotados de Inteligencia Artificial depende de quién sea verdaderamente responsable de los razonamientos y las decisiones que toman estos dispositivos, es decir, de aquellos encargados y responsables de su diseño y programación. Las consideraciones éticas deben considerar principios de diseño más específicos, como la trazabilidad algorítmica, la aplicabilidad y la responsabilidad o la supervisión de una persona. Finalmente, contar con principios y estándares bien definidos contribuye en gran medida a la

obtención de mejores beneficios de la Inteligencia Artificial y reducir los riesgos asociados en su utilización (Villalba, 2020).

3.4.1. Principios éticos en Inteligencia Artificial

Tomando como referencia los principios éticos en Inteligencia Artificial definidos por la Unesco (2021), con el fin de proteger y promover los derechos de las personas como también la dignidad humana, se establecen los siguientes puntos:

- **Proporcionalidad e inocuidad**
La utilización de sistemas con Inteligencia Artificial no garantiza la prosperidad de los seres humanos, ni el medio ambiente. Ningún proceso deberá utilizarse para lograr objetivos o propósitos ilegítimos.
- **Seguridad y protección**
Se deben evitar los daños y vulnerabilidades del sistema, garantizando la seguridad y protección de las personas y del medio ambiente.
- **Equidad y no discriminación**
Se debe adoptar un enfoque inclusivo garantizando que los beneficios de las tecnologías estarán disponibles y serán accesibles por y para todos, teniendo en consideración los diferentes grupos de edad, cultura, lenguaje, etnias, etc.
- **Sostenibilidad**
Deberá llevarse a cabo una evaluación continua de los efectos de la utilización de la Inteligencia Artificial en la sociedad y el medio ambiente, entendiendo las repercusiones de la tecnología en la sostenibilidad.
- **Derecho a la intimidad y protección de datos**
Los sistemas algorítmicos requieren de una evaluación del impacto en la privacidad, con consideraciones éticas y sociales por su utilización.

La privacidad debe ser respetada, promovida y protegida durante el ciclo de vida de los sistemas con Inteligencia Artificial.

- **Transparencia y explicabilidad**
Deben ser condiciones previas que garanticen el respeto, la protección y promoción de los derechos de la persona. La falta de transparencia puede afectar directamente en las decisiones basadas en resultados, producidos por sistemas con Inteligencia Artificial.
- **Supervisión y decisión humana**
Un sistema no podrá reemplazar la responsabilidad ética y jurídica de una persona y su obligación de dar explicaciones. Las decisiones, donde una vida peligra, no deben cederse a un sistema con Inteligencia Artificial.
- **Sensibilidad y educación**
El enfoque y comprensión de los sistemas se deben basar en el impacto que estos producen sobre los derechos humanos, como también sobre el medio ambiente. Se debe educar para garantizar la participación pública y proteger de influencias indebidas.
- **Responsabilidad y rendición de cuentas**
Se deberán elaborar mecanismos para supervisar, auditar y evaluar con el fin de garantizar la rendición de cuentas de los sistemas y su impacto a lo largo de su ciclo de vida. Sumado a esto, se deberá respetar, promover y proteger los derechos de las personas y sus libertades fundamentales, como también fomentar la protección del medio ambiente.
- **Gobernanza y colaboración adaptativa y de múltiples partes interesadas**
En base al respeto y privacidad de los datos, el Estado puede adoptar medidas que regulen de forma efectiva los datos generados.

Si bien los principios éticos de la Inteligencia Artificial enunciados son los deseables para cualquier sistema, en el contexto práctico puede haber colisiones indeseables entre ellos. Bajo esta situación, se deberá realizar un análisis y evaluación de contexto para garantizar la menor colisión posible, teniendo en consideración el principio de proporcionalidad y de conformidad con los derechos de las personas y libertades fundamentales (UNESCO, 2021).

3.5. Inteligencia Artificial en Salud

Con el foco puesto en la mejora de resultados, reducción de costos y aumentando la satisfacción del paciente, las clínicas y hospitales se encuentran abriendo sus puertas a la implementación de tecnologías como Inteligencia Artificial y Machine Learning. Esta implementación permite asistir al médico para poder contar con diagnósticos más eficientes y certeros.

Entendiendo el lenguaje natural, con la capacidad de responder preguntas específicas y extrayendo datos de pacientes para formular hipótesis, que le permitirá presentar un esquema de diagnóstico y tratamiento del paciente, IBM Watson es la herramienta tecnológica más conocida en el ambiente de la salud.

Los chatbots que asisten a pacientes para la programación de citas médicas, asistencia virtual para retroalimentación médica o en los procesos de facturación, con respuestas programadas a preguntas puntuales (Van den Broeck et al, 2019), son otra de las aplicaciones que utilizan Inteligencia Artificial al servicio de la salud, pero que no serán caso de estudio en este trabajo de investigación.

3.5.1. Primera aplicación médica con Inteligencia Artificial

En el año 1966, el profesor de informática Joseph Weizenbaum, del Instituto Tecnológico de Massachusetts (MIT), crea la aplicación ELIZA. Esta aplicación, a

través de lógica computacional, e interactuando con médicos y pacientes, lograba diagnosticar ciertos tipos de enfermedades (Medinaceli Diaz et al, 2021).

Como comenta Moraguez en su artículo, ELIZA, que lograba diagnosticar pacientes haciendo preguntas y reconociendo determinados patrones en sus respuestas, también tuvo como finalidad el diagnóstico de trastornos mentales, reconociendo patrones en el habla del paciente

Si bien el éxito de ELIZA abrió las puertas a la utilización de ordenadores e Inteligencia Artificial en la medicina, esta aplicación se limitaba únicamente a reconocer determinados patrones y palabras claves, lo que le impedía mantener una conversación fluida o compleja. Esta limitación se debía principalmente a que sus respuestas estaban previamente programadas, era incapaz de memorizar y no lograba aprender de las conversaciones (Erik Moraguez, s.f.).

En la actualidad, ELIZA ha sido sustituida por herramientas como IBM Watson Health que permite, utilizando algoritmos de aprendizaje automático, entender los patrones de entrada de los diferentes usuarios y así mantener una conversación con mayor complejidad y generar respuestas más exactas (Erik Moraguez, s.f.).

3.5.2. Ética en Inteligencia artificial en salud

La selección e implementación de tecnologías basadas en Inteligencia Artificial en el campo de la salud implica tener en cuenta varios aspectos fundamentales. Es necesario considerar principios éticos, evaluar cuidadosamente los riesgos y beneficios, abordar cuestiones relacionadas con la privacidad, confidencialidad, acceso y facilidad de uso, así como tener en cuenta las implicaciones que el uso de estas tecnologías tiene en la gestión de datos, el consentimiento informado y la autonomía del paciente (Tamayo Lopez y Rivilla Piñango, 2021).

Es crucial promover un uso responsable de la tecnología de Inteligencia Artificial y garantizar que todo el personal involucrado sea consciente de los posibles daños asociados a su uso. La transparencia en relación con los riesgos potenciales es fundamental para mantener la confianza y la seguridad en el uso de estas tecnologías en el ámbito de la salud (Tamayo Lopez y Rivilla Piñango, 2021).

La automatización e inclusión de equipamiento tecnológico, que asista en la toma de decisiones, conlleva una serie de consideraciones éticas relevantes. Por un lado, las máquinas tienen un poder de cálculo que supera en precisión y velocidad a la persona, pero existen aspectos no tangibles que los sistemas no son capaces de intuir o resolver sin la asistencia del humano. Por otro lado, contar con robots que realicen tareas mecánicas, cotidianas o repetitivas, que signifiquen un riesgo o descarga de tareas para la persona, supone una gran ventaja para la sociedad (Ávila-Tomás, 2021).

Según Ávila-Tomás (2021), contar con este equipamiento tecnológico, que asiste en tareas complejas y la toma de decisiones, como puede ser el caso del diagnóstico por imágenes, conlleva implicancias éticas. Los tres principios básicos que elaboró la Unión Europea, para lograr una Inteligencia Artificial confiable definen:

1. Asegurar una Inteligencia Artificial centrada en el ser humano, desarrollándola con un propósito ético, fundamento y reflejando los derechos fundamentales.
2. Evaluar los efectos de la Inteligencia Artificial en el ser humano, basándose en los derechos fundamentales, principios éticos y valores.
3. Considerar el impacto negativo en la implementación de Inteligencia Artificial, aunque su aporte sea beneficioso para la persona y sociedad.

3.5.3 Inteligencia Aumentada en Salud.

La implementación de algoritmos de Inteligencia Aumentada, es decir, inteligencia artificial que potencia la cognición humana pero que no reemplaza su puesto de trabajo, se ha ido incorporando en diferentes áreas de la medicina. A pesar de los beneficios que la inteligencia aumentada presenta en el cuidado de la salud, su adopción ha presentado cierto escepticismo y preocupación. Por un lado, debido a la inquietud que se deriva por la falta de comprensión en su funcionalidad y el rol del médico en la toma de decisión. Por otro lado, por la falta de confiabilidad de los datos y sus resultados, como también la preocupación por la transparencia y responsabilidad (Bazoukis et al., 2022).

Las tecnologías basadas en Inteligencia Artificial tienen el potencial de transformar la atención médica al obtener nueva información, de una gran cantidad de datos, que puede ser analizada, administrada y organizada de forma más eficiente. La capacidad que hoy presenta la inteligencia aumentada, para el aprendizaje continuo y la mejora del rendimiento, la posiciona como una tecnología en rápida expansión. Ejemplos de la aplicación de esta tecnología incluye la detección temprana de enfermedades, la mejora en la precisión del diagnóstico por imágenes, desarrollo de diagnósticos personalizados, detección de sesgos en ensayos clínicos, identificación de patrones, etc. (Bazoukis et al., 2022).

La inteligencia aumentada, basada en datos sólidos y con la inclusión de controles y equilibrios, puede ser de gran utilidad para los médicos en el proceso de toma de decisiones. Uno de los objetivos de esta tecnología se focaliza en probar su solidez, equidad, usabilidad y aceptación en el entorno clínico, puntualmente cuando los enfoques convencionales no se pueden aplicar de manera segura y con la mayor de las confianzas, potenciando de esta manera una toma de decisión impulsada por la Inteligencia Artificial (Mysler, 2023).

Según Shimabukuro et al. (2017), si bien el rendimiento de un algoritmo de inteligencia aumentada debe probarse primero, para luego compararlo con sistemas existentes, la confiabilidad en estas tecnologías constituye a una implementación

exitosa en las prácticas clínicas. Para lograr esta confianza se deben seguir estos tres pasos fundamentales:

1. Construcción de algoritmos eficientes que se refinan y modifican constantemente con nuevos datos y estudios médicos.
2. Construcción de un marco para lograr el monitoreo de confiabilidad en tiempo real e identificando fallas potenciales, considerando la causa raíz.
3. Capacidad para la corrección rápida y eficiente de potenciales fallas.

La medicina de precisión es un claro ejemplo de uso de Inteligencia Aumentada, dotando a los médicos de las herramientas necesarias para la mejor comprensión de: los complejos mecanismos biológicos que subyacen la salud, condiciones del paciente, enfermedades que padece, y permitir una sugerencia y predicción del tratamiento que pueda ser más apropiado para su recuperación (Lyles, 2018).

Universidad de
SanAndrés

Capítulo 4: Desarrollo

4.1. Aportes de la Inteligencia Artificial en la mejora del diagnóstico por imágenes

El campo de la Inteligencia Artificial se ha presentado y destacado como un área diferencial de la tecnología, con grandes aportes de usabilidad en la resolución de problemáticas, el aprendizaje y razonamiento, como así también para el estudio de diagnósticos médicos. Sumado a esto, el uso de lógica simbólica y estadística, que fue descripta por Ledley y Lusted, como metodología para la asistencia en el proceso de la toma de decisiones, agregando a la computadora como un instrumento para la ayuda en el proceso del diagnóstico médico. (Ledley y Lusted, 1959)

A principios de los años 70, en la Universidad de Stanford, la Inteligencia Artificial emprendió sus primeros pasos en el campo de la medicina, con el Sistema Experto denominado MYCIN. Este sistema fue creado con la intención de brindar sugerencias y consejos para el diagnóstico de pacientes con enfermedades infecciosas, dando una explicación detallada de su propio razonamiento. Basándose en 500 reglas de causa-efecto, el sistema contaba con la capacidad de diagnosticar, con un porcentaje de acierto del 70%, enfermedades infecciosas en sangre como es el caso de meningitis y bacteriemia, para luego explicar el mecanismo adoptado para la conclusión de su diagnóstico, sugiriendo antibióticos y la dosis correspondiente. (Sancho Azcoitia, 2018).

Con el correr de los años, la Inteligencia Artificial ha tenido un rol muy importante en la medicina, facilitando al médico clínico el tratamiento de información de alto nivel, que utiliza para el diagnóstico y futuro tratamiento de sus pacientes. Estos sistemas expertos han pasado a ocupar un rol como gestores de la información, reduciendo la sobrecarga laboral, almacenando, indexando y reduciendo los datos médicos, lo que lleva a una mejora asistencia del paciente y una reducción en los costos. (Coiera, 2013).

La inteligencia artificial médica, propone y consiste en la creación de software que simulen las posibilidades intelectuales del médico en la totalidad de sus actividades profesionales. Tomando en consideración los procesos lingüísticos, aprendizaje, creatividad y percepciones. En resumen, la meta es el diseño e implementación de agentes inteligentes, que cuenten con herramientas de búsqueda, representación del conocimiento, adaptabilidad, aprendizaje continuo y a disposición para la solución de cualquier problemática médica. (Archiles, s. f.)

Los programas de Inteligencia Artificial en medicina están destinados, en gran medida, a dar soporte a los profesionales de la salud en el transcurso de sus labores diarias, apoyando en las tareas basadas en la manipulación de conocimiento y datos. Un aporte de valor, en cuanto a la utilización de esta tecnología, suele ser el caso de la sugerencia en el cambio significativo en las condiciones de salud de un paciente, detectando anomalías o prediciendo futuras enfermedades. Al mismo tiempo, al ser un sistema experto, dotado con conocimientos médicos, con capacidad de analizar datos individuales de pacientes, logra, como resultado, conclusiones racionales. (Clavijo Rodríguez et al., 2006).

Un sistema experto, se encuentra enfocado en el conocimiento simbólico. Es un programa desarrollado para emplear el conocimiento humano para la resolución de problemas. Su diseño se encuentra enfocado en adquirir conocimientos operativos, para luego ponerlos a disposición, como herramienta colaborativa, realizando tareas que son destinadas a expertos en el tema, razonando en base a los datos del paciente. Debido a su eficiencia y velocidad en la resolución, estos sistemas no solo constituyen el área de aplicación de la inteligencia artificial con el mayor éxito en el ambiente de la salud, sino que además son utilizados para la toma de importantes decisiones y definiciones. La utilización de esta avanzada herramienta incrementa la productividad y la eficiencia en la toma de decisiones, asistiendo a los médicos cuando dudan o no se encuentran presentes. (Sancho Azoitia, 2018).

Con la posibilidad de asimilar infinidad de información sobre síntomas, causas de enfermedad e historias clínicas de pacientes, la utilización de la

Inteligencia Artificial ha tenido un gran impacto en todo el ámbito de salud. Toda esta expansión y crecimiento, posibilitó el desarrollo de sistemas basados en el conocimiento de áreas específicas, o más conocidos como Sistemas Especialistas, que tienen el objetivo de brindar asistencia en la toma de decisiones médicas, minimizando los riesgos, aumentando la precisión en el diagnóstico y sugiriendo futuros tratamientos. (Torres Garzan et al, 2020).

Un diagnóstico temprano y certero, logrando delimitar e identificar los síntomas de una manera rápida, hará que cambie notablemente el curso de cualquier enfermedad. Como un aliado de la ciencia médica y el diagnóstico de imágenes médicas, la tecnología facilita el procesamiento de grandes volúmenes de datos e imágenes, identificando objetos y patrones para su futuro análisis. La implementación de inteligencia artificial, en imágenes médicas, permitió a los especialistas una precisión y eficiencia del 100% en la detección de pólipos, sumado a la posibilidad de contrastar las definiciones que se toman al momento de informar. (Arenas, 2021).

Si bien existen riesgos asociados con la implementación de Inteligencia Artificial, en las diferentes empresas o entidades, esta tecnología puede ser utilizada con éxito. De esta manera se logra mejorar los tiempos de respuesta y minimizar las tareas repetitivas, esfuerzos de empleados y organizaciones (Jasmine N. Kelley, 2020).

4.2. Innovación médica con Inteligencia Artificial

Buscando consolidar la medicina de precisión, se persigue el objetivo de adaptar de una manera más individual y personalizada para el diagnóstico y las medidas terapéuticas y preventivas, actualizando y ampliando la infraestructura de los centros médicos, adaptándose al cambio tecnológico y el Plan 5P, también conocido como Medicina 5P. Con la aplicación de big data en este enfoque, la precisión en el diagnóstico por imágenes, la selección de terapias y el monitoreo del paciente obtienen una mejora sustancial y de gran ayuda para el personal médico,

orientando la visión y solución al momento de buscar un tratamiento adecuado (Montagu, 2022).

Siendo una tecnología emergente que, basándose en la utilización de datos generados por nuevos sistemas inteligentes, busca comprender las características propias de cada paciente y permitir ofrecer una correcta asistencia. La utilización de todos los instrumentos de avanzada tecnología, permiten un diagnóstico por imágenes que determinará con mayor fiabilidad y precisión las soluciones a adoptar, avanzando hacia una medicina de precisión y siendo de asistente continuo para el médico radiólogo (Monereo Moreno & Moreno Vida, 2022).

La utilización de algoritmos de machine learning, se convirtió en parte vital en la investigación de imagenología médica, en donde el diagnóstico y evolución precisa de una enfermedad dependen tanto de la obtención de imágenes como de su interpretación. Las nuevas herramientas de diagnóstico asistido se caracterizan por realizar una interpretación o tratamiento previo de la información del paciente, sirviendo de ayuda y asistencia para la decisión final del profesional médico (Monereo Moreno & Moreno Vida, 2022).

Estas herramientas digitales permitirán una asistencia centrada en la persona, obteniendo respuestas más adecuadas a los retos derivados de la salud, centrándose en promover el bienestar y evitar enfermedades (Monereo Moreno & Moreno Vida, 2022). Como indica Montagu (2022), la innovación médica de la mano de la tecnología conduce a una individualización del tratamiento, dando lugar a la medicina 5P que se caracteriza por ser:

- Personalizada

Con la asistencia de Big Data, se procesa la información y contexto de cada paciente, especificando el diagnóstico, tratamiento, terapia y seguimiento para cada uno.

- **Predictiva**
Los modelos predictivos son más eficientes, permitiendo analizar y calcular los riesgos de que una persona desarrolle una enfermedad.
- **Preventiva**
Basado en los datos y patrones, asiste al médico en la toma de decisiones que evitara la aparición de enfermedades.
- **Participativa**
Organizar y dotar a la totalidad de los profesionales que se encargaran de la salud del paciente, para situarlo en el centro del sistema, enfatizando la importancia de la coordinación entre los agentes que intervienen.
- **Poblacional**
Garantizar el acceso a una asistencia médica a toda la población. Contar con un sistema más eficiente que permita optimizar los recursos y permita la atención de un mayor volumen de personas.

4.3. Caso de estudio: IBM Watson.

IBM Watson es un caso de sistema cognitivo, con la habilidad de comprender el lenguaje humano, logrando identificar inferencias en el texto, con la misma precisión que lo haría una persona. Dada su velocidad de procesamiento, el sistema tiene la posibilidad de manejar un alto nivel de precisión al momento de comprender y generar una respuesta (Rob High, 2012).

Según Mayank Aggarwal y Mani Madhukar (2017), con la capacidad de obtener información por medio de la predicción de consultas, asociación y recopilación de datos, IBM Watson Analytics tiene por objetivo proporcionar puntuación a la calidad de datos, al análisis detallado y la asociación de los campos. Para obtener y aumentar su grado de confianza en la interpretación de las

preguntas, Watson recurre a sus capacidades cognitivas pasando por el siguiente proceso:

- Plantea la pregunta para extraer las principales características de la misma.
- Proporcionando reconocimiento semántico de conceptos en sus datos.
- Recomienda puntos de partida para el análisis, como objetivos para la predicción.
- Realiza comparación de lenguaje de la pregunta y su posible respuesta mediante algoritmos de razonamiento.
- Genera un conjunto de hipótesis que serán potenciales respuestas.
- Repite el proceso para cada respuesta hasta encontrar la mejor solución

La implementación de Watson para el cuidado de la salud logró revolucionar los diferentes sectores médicos, asistiendo tanto a pacientes como a los profesionales de la salud. Si bien en las industrias prevalece la incertidumbre consecuente de la Inteligencia Artificial, el sector de la salud logró sacar su mayor provecho explorando los beneficios de Watson, resolviendo el creciente volumen de datos, aportando un diagnóstico rápido, en tiempo real, y asistiendo en la toma de decisiones sobre posibles tratamientos (Deepak Kumar, 2020). Según lo expresado por Deepak Kumar, el sistema Watson logró transformar el sector de la salud de cuatro maneras:

1. Mejorando el rendimiento organizativo.
2. Controlando la diabetes de forma eficiente.
3. Cuidados avanzados en oncología.
4. Mejoramiento en el descubrimiento de fármacos.

Posicionado como uno de los mejores ejemplos de aplicaciones de Inteligencia Artificial en salud, el robot estrella de IBM brinda soporte a oncólogos y radiólogos en la toma de decisiones médicas. Watson es capaz de realizar un diagnóstico de cáncer con una precisión del 83%. Si bien su principal función es la de soporte médico, Watson tiene la posibilidad de sugerir tratamientos profesionales

médicos, para luego realizar un seguimiento individual de cada paciente, a nivel genético. Potenciando este robot con datos e imágenes y algoritmos matemáticos específicos, se le permite continuar con el aprendizaje para contar con la capacidad de identificar nuevos medicamentos y la relación entre los ya existentes. (Greenstein et al, 2021).

En la actualidad, IBM Watson tiene la capacidad de integrarse con sistemas o aplicaciones para resolver cualquier problemática médica, dado que esta no presenta restricciones. Un claro ejemplo se da en la alianza o colaboración entre IBM con Apple, Johnson & Johnson y Medtronic, dando lugar a la creación de nuevas soluciones médicas que aprovechen la información recolectada por los dispositivos. Todo esto redundará en una mayor capacidad de reconocimiento y tiempo de respuesta, contando con una percepción más completa de los factores a la salud y el cuidado intensivo de los pacientes (Fred O'Connor, 2015).

4.4. Caso de estudio: Med-PaLM

En los últimos años, grandes redes neuronales entrenadas para la comprensión y generación de idiomas han logrado resultados impresionantes en una amplia gama de tareas, un claro ejemplo que ha demostrado dar resultados de vanguardia es el caso de los modelos de lenguaje extenso (Sharan Narang y Aakanksha Chowdhery, 2022).

En el caso de las aplicaciones de Inteligencia Artificial, que se enfocan en el campo de la medicina, requieren del máximo enfoque en la seguridad, la equidad y el sesgo. Esto permite proteger el bienestar del paciente, para poder trabajar en herramientas que recuperen el conocimiento médico y así trabajen con mayor precisión y proporcionen un mejor razonamiento (Corrado, 2023).

Sacando provecho de los grandes modelos de lenguaje de Google, alineados con el dominio médico y evaluado mediante exámenes médicos, investigaciones médicas y consultas de consumidores, Med-PaLM es el primer sistema de Inteligencia Artificial en superar la marca de aprobación en los exámenes de

Licencia médica de los Estados Unidos (USMLE). Este modelo de Inteligencia Artificial generativa no solo respondió con precisión a las preguntas abiertas y de opción múltiple, sino que también proporcionó fundamentos y evaluó sus propias respuestas (Corrado, 2023).

El estudio realizado por Singhal, et al. (2023), tuvo por objetivo comprender cómo se relacionaban las respuestas de Med-PaLM con el consenso científico actual en la comunidad clínica y científica. Considerando que las respuestas médicas se encontraban alineadas con el consenso científico en un 92,9% de las preguntas, se demostró que Med-PaLM cuenta con instrucciones sólidas y capaces de producir respuestas científicamente fundamentadas, al obtener 92,6%. En la actualidad y con el objetivo de perfeccionar el sistema ya existente, Google se encuentra trabajando en Med-PaLM 2, que con una puntuación de 85%, logra el mismo nivel que un médico experto y un rendimiento 18% mayor con respecto al modelo Med-PaLM, superando cualquier modelo de Inteligencia Artificial similar.

Si bien este sistema de Inteligencia Artificial arroja sorprendentes resultados, todavía queda mucho trabajo por realizar para garantizar que esta tecnología logre funcionar en un entorno real. Aunque el modelo fue probado bajo 14 criterios que incluyen la factibilidad médica y científica, la precisión, el razonamiento, el sesgo, etc., a través de las evaluaciones se encontraron brechas significativas a la hora de responder preguntas médicas y cumplir con estándares de excelencia. Trabajando con investigadores y comunidad médica, se busca resolver estas brechas, para que esta tecnología pueda ayudar a mejorar la prestación del servicio de salud a nivel mundial (Corrado, 2023).

4.5. Medicina de precisión impulsada por Inteligencia Artificial.

La medicina de precisión está siendo impulsada por la inteligencia artificial y sus diferentes capacidades, para lograr acelerar la investigación que tiene por objetivo la mejora de los resultados sanitarios. Los diferentes modelos de Inteligencia artificial permiten integrarse al personal médico, para ayudar en la

aceleración de procesos y capacitación de científicos, obteniendo los resultados de una forma más rápida, eficiente, evitando errores involuntarios y retroalimentando el rendimiento de la Inteligencia Artificial. (Intel, s.f.)

Con un modelo capaz de adaptarse al paciente, a su estilo de vida y sus antecedentes, la medicina de precisión logra, por medio de la inteligencia artificial, anticiparse a enfermedades que se puedan llegar a padecer. Sumado a esto, permite aplicar las mejores terapias basadas en evidencia clínica y discutir los casos cuya complejidad es mayor. Con foco en enfermedades de alto impacto, la implementación de Inteligencia Artificial busca optimizar los costos a los distintos sanatorios y clínicas médicas (Redacción Médica, 2022).

Según Johnson, et al. (2021), el éxito para transformar un sistema, de Inteligencia Artificial, en una aplicación del mundo real no solo depende de la precisión, sino también de la capacidad de trabajo con precisión de manera confiable, segura y generalizada. Entre los principales desafíos que se presentan y que tienen la capacidad de afectar el éxito de las transiciones a la atención médica son:

- 1. Imparcialidad y parcialidad de los resultados.**

Un modelo de Inteligencia Artificial entrenado con datos podría amplificar el sesgo y tomar decisiones desfavorables hacia un grupo particular de personas caracterizado por edad, género, raza, nivel geográfico o económico. Es crucial detectar y eliminar el sesgo en los datos y modelos.

- 2. Factores socioambientales.**

Los factores ambientales y los flujos de trabajo donde se implementa el modelo de Inteligencia Artificial pueden afectar el rendimiento de este y la eficiencia clínica.

- 3. Seguridad y privacidad de los datos.**

La construcción de un ecosistema seguro y controlado para el almacenamiento, gestión e intercambio de datos es esencial, lo que requiere

la adopción de nuevas tecnologías como también la creación de nuevas regulaciones y modelos comerciales.

4.6. Aporte de Inteligencia Artificial para el diagnóstico de cáncer.

Con una elevada precisión en el diagnóstico de distintos tipos de cáncer, hoy la inteligencia artificial es un prometedor aliado para los médicos. Con algoritmos de conocimiento, que permiten asistir y ampliar los horizontes de búsqueda, colaboran con los médicos radiólogos a no pasar por alto el 15% de error que suelen tener al momento de realizar un análisis y diagnóstico a pacientes. Para este caso puntual, se desarrolló un sistema que lograba superar a un total de 15 prestigiosos médicos en el diagnóstico por imágenes, con una eficiencia del 90%, comparado con el 66% atribuido a médicos especialistas (Samper, 2021).

En cuanto al diagnóstico de cáncer de mama, con Inteligencia Artificial, los primeros resultados publicados en 2019, por el *Journal of the National Cancer Institute*, mostraron que el sistema contaba con una eficiencia superior a la media médica, con un acierto que supera los 60 puntos porcentuales. Si bien la precisión con la que se detectaron los diferentes melanomas es comparable con la de un médico radiólogo, y sus resultados muy prometedores, el impacto que genera en el entorno todavía requiere de análisis más profundos. Para lograr un rendimiento aún superior, se continúan perfeccionando los algoritmos basados en redes neuronales de aprendizaje profundo (Rodríguez Ruiz et al, 2019).

Según el Instituto Nacional del Cáncer (2022), los expertos consideran que el modelo de Inteligencia Artificial cuenta con una mejor capacidad de análisis que le permite distinguir, por medio de una tomografía computarizada, entre el cáncer de pulmón y los cambios que no son cancerígenos. Por medio de esta asistencia médica, que cuenta con una eficiencia del 90,658%, se logran disminuir los resultados falsos positivos, llevando tranquilidad al paciente, evitándose el estrés, las pruebas de seguimiento y procedimientos invasivos que resultan innecesarios.

Un nuevo modelo de Inteligencia Artificial, desarrollado por investigadores del Massachusetts Institute of Technology (MIT), permite facilitar la identificación de aquellos cánceres difícil de diagnosticar como también detectar el lugar de origen del mismo. Con la implementación de *Machine Learning*, los investigadores diseñaron un modelo que cuenta con la capacidad de analizar la secuencia de 400 genes y predecir dónde se originó el tumor, para luego avanzar con su respectivo tratamiento. Bajo la investigación realizada en datos de 900 pacientes, se demostró que el modelo propuesto permitía clasificar con precisión y alta confiabilidad al menos el 40% de los tumores de origen desconocido, siendo de guía para los médicos y el tratamiento personalizado de los pacientes. El modelo, denominado OncoNPC, logró predicciones con un 80% de precisión, pero para aquellos tumores con predicciones de alta confianza, su precisión logró aumentar al 95% (Anne Trafton, 2023).

4.7. Elección del tratamiento médico con Inteligencia Artificial.

Con la capacidad potencial de revolucionar la atención médica, la inteligencia artificial avanza en su camino con el objetivo de mejorar la precisión de los diagnósticos, reducir los costos, optimizando los tiempos de respuesta y brindar un tratamiento personalizado. Entendiendo que la elección de un tratamiento es un proceso complejo, que requiere de múltiples consideraciones, la Inteligencia Artificial logra asistir y ayudar al médico especialista en la toma de decisiones sobre tratamiento, al contar con información más precisa, relevante y objetiva (Portillo, 2023).

Cada paciente reacciona de una manera particular a los diferentes medicamentos y enfoques terapéuticos. Si bien se realizan estudios poblacionales para la evaluación de la farmacocinética de los medicamentos, el entorno individual es particular pudiendo disparar diferentes respuestas, tanto sinérgicas como de disminución de los efectos. Por lo tanto, asegurar el éxito en este proceso implica la implementación de terapias personalizadas, ajustadas y adaptadas a la necesidad de cada uno. El algoritmo de aprendizaje automático trabaja en la predicción de las

posibles respuestas de los pacientes ante tratamientos específicos. Su foco se centra en la identificación de los factores que inciden en la elección, permitiendo descubrir las características específicas que sugieren cómo podría responder un paciente a una terapia particular (Portillo, 2023).

Por otro lado, la Inteligencia Artificial brinda un aporte adicional al paciente, asegurando su seguridad en todos los niveles de atención, como también al momento de la elección de un tratamiento médico. Uno de los mayores puntos a tener en consideración son los errores en el diagnóstico médico, siendo estos la tercera causa de muerte más frecuente en los Estados Unidos, con una estimación de 5 millones de errores médicos por año. Estos errores, que en la mayoría de los casos son prevenibles, se asocian a la falla en la comunicación, errores de diagnóstico, errores de tratamiento o una falta de visión del panorama generalizado. Con la implementación de un sistema de Inteligencia Artificial, como soporte en las decisiones, se logra mejorar la detección de errores, el manejo de medicamentos y la estratificación del paciente (Makary y Daniel, 2016).

Conocer el nivel de predictibilidad en el diagnóstico por imágenes médicas, contribuye a la generación de un diagnóstico más certero, al igual que una oportunidad de trabajo colaborativo entre las diferentes áreas involucradas. Con la visión puesta en ofrecer a los pacientes un tratamiento personalizado, IBM Watson se presenta como la herramienta capaz de incrementar al máximo las posibilidades de sanación sobre una patología que se esté cursando. En particular, esta tecnología sugiere y concluye un tratamiento adecuado para cada caso de estudio, tratándose como una solución esperanzadora que brinda agilidad y precisión. El sistema inteligente brinda, a los profesionales de la salud, la oportunidad de contar con una segunda opinión sobre la enfermedad y poder llegar a un tratamiento más oportuno y orientado a una solución final (Ventura-Fernandez, et al, 2020).

En la actualidad, más de 300 herramientas de Inteligencia Artificial, aprobadas por la FDA, son utilizadas por médicos radiólogos a nivel global. En muchos de los casos, estas herramientas tienen la finalidad de guiar y asistir a médicos en el diagnóstico y tratamiento del cáncer, no así para la predicción de

futuras enfermedades. Aun así, contar con un sistema de Inteligencia Artificial permite aumentar de forma exponencial la detección temprana de enfermedades como puede ser el caso del cáncer, permitiendo también aumentar las tasas de supervivencia al contar con la posibilidad de un tratamiento, que se adapte a la necesidad del paciente (Berkeley Lovelace Jr., et al, 2023).

4.8. Reducción de falsos positivos con algoritmos de Inteligencia Artificial

El diagnóstico asistido por computadora plantea diversas cuestiones relevantes que requieren de un análisis exhaustivo. Por un lado, se deben analizar los sesgos en la información y la calidad de los modelos utilizados, así como llevar a cabo un estudio previo sobre la viabilidad del acceso a la información que se encuentra almacenada. Por otro lado, considerar una correcta interpretación de los falsos positivos y negativos, así como determinar la responsabilidad en la toma de decisiones. Estos aspectos son necesarios para garantizar que la utilización de nuevas tecnologías, basadas en el tratamiento masivo de datos, no conduzcan a umbrales de error preocupantes (Monereo Moreno & Moreno Vida, 2022).

Los sistemas de apoyo en la decisión médica, como es el caso de los algoritmos de Inteligencia Artificial, son una herramienta importante para reducir los falsos positivos. Estos sistemas representan un cambio de paradigma en el sector de la salud, especialmente en el área del diagnóstico por imágenes. Sin embargo, es necesario definir en qué patologías es factible la implementación de un diagnóstico totalmente automatizado. Aunque el criterio del profesional prevalece en la toma de decisiones, es importante analizar quien asumirá la responsabilidad en caso de error cuando no haya una intervención médica (Monereo Moreno & Moreno Vida, 2022).

Al momento de extraer y analizar datos de forma retrospectiva, herramientas de inteligencia artificial permiten un seguimiento para la asistencia del profesional médico. Al incorporar información del paciente, el sistema analiza en tiempo real

toda la data y ofrece de forma anticipada la sugerencia de posibles tratamientos, que serán personalizados y con base en su enfermedad. Por todo este seguimiento que brinda el sistema de inteligencia artificial, los falsos positivos se ven reducidos a la mitad, la efectividad se verá maximizada y la precisión aumentada en un 5% a 10% en relación con un médico promedio (Julia Díaz, s.f.).

Según lo expuesto por el Dr. Daniel Mysler (2023), con la utilización de algoritmos predictivos y redes neuronales, basados en inteligencia artificial, se reduce el número de zonas sospechosas, brindando información más detallada sobre el cáncer y disminuyendo el número de falsos positivos. Con estos sistemas, los diagnósticos por imágenes médicas, para la detección de cáncer de mama, permiten obtener resultados con una fiabilidad del 90%. Estos resultados permiten reducir los costos clínicos, dando lugar a la posibilidad de incorporar nuevas campañas para la concientización y detección temprana de la enfermedad.

4.9. Oportunidades y desafíos de Inteligencia Artificial en Salud.

La Inteligencia Artificial es una de las tecnologías que ha logrado captar la atención a nivel mundial por las prestaciones que promete, aunque continúe en un desarrollo y perfeccionamiento continuo, que no dejará de sorprendernos en los años siguientes. En la actualidad, es posible ser parte de este avance que se nos ofrece, tomando en consideración que es una de las tecnologías más prominentes de los últimos tiempos y que genera expectativas constantes. (Pilar Serrano, 2019).

La implementación de Inteligencia Artificial en la atención médica cuenta con la oportunidad de transformar la forma en la que se diagnostica, trata y previene enfermedades. Esta tecnología tiene la capacidad de mejorar los resultados de los pacientes, reduciendo costos y aumentando la eficiencia de los sistemas sanitarios. Entre las principales oportunidades en las que la inteligencia artificial puede agregar valor en la atención médica se destaca el diagnóstico y planificación del tratamiento. En este caso, la Inteligencia Artificial puede utilizarse para el análisis de imágenes con el fin de asistir a los médicos en la identificación de enfermedades y poder

planificar su tratamiento. Otra de las oportunidades es la del análisis predictivo, con la posibilidad de analizar registros médicos y datos adicionales, para predecir los riesgos de posibles enfermedades y asistir en la intervención médica temprana (Howar Rosen, 2023).

La incorporación de la Inteligencia Artificial al flujo de trabajo promete ser revolucionaria. Su integración cuenta con el potencial de aumentar la precisión y ampliar las funciones de los médicos radiólogos, al vincularse estrechamente con la tecnología. En este sentido, los médicos radiólogos podrían encontrar un rol crucial en los momentos más críticos del proceso de entrenamiento de la Inteligencia Artificial, aportando su experiencia, supervisando su efectividad y brindando su perspectiva. Los profesionales de la salud continuarán con su rol, supervisando los resultados y buscando métodos de validación como una forma de búsqueda continua de información oculta, que quizás haya pasado desapercibida, y sea crucial para un mejor diagnóstico (Puentes et al, 2021).

Según la redacción APD (2021), la implementación de Inteligencia Artificial en el ámbito de la salud ha abierto las puertas hacia un cambio de paradigma desde diferentes perspectivas. Su aplicabilidad brindará mayores facilidades a la hora de supervisar pacientes de manera remota como también al diagnóstico por imágenes más certero. Demostrando su utilidad tanto en el ámbito científico como médico, la inteligencia artificial brinda nuevas oportunidades y beneficios como los detallados a continuación:

- Mejor calidad de vida de los pacientes.
- Obtención de un diagnóstico más preciso y rápido.
- Agilidad en los tiempos de investigación para el desarrollo de nuevos fármacos y determinadas enfermedades.
- Alivio en la carga laboral del profesional médico.
- Mejora en el seguimiento y control de pacientes crónicos, mediante dispositivos inteligentes.

Por otro lado, los avances en el campo de la Inteligencia Artificial aplicados al reconocimiento de voz y a las técnicas de aprendizaje automático están fortaleciendo de manera significativa estos sistemas, los cuales son una herramienta ampliamente empleada por los médicos. Estos progresos están generando una mejora notable en la eficiencia, llegando incluso al punto de tener la capacidad de predecir las palabras que el médico pronunciará, basándose en registros previos. La implementación de esta tecnología conlleva una disminución aproximada de dos tercios en el tiempo que los profesionales de la salud destinan a la redacción de cada estudio, en comparación con el método de escritura convencional (Jose Juan, 2022).

Según el dato obtenido de los médicos encuestados, el gran desafío que se presenta, al momento de la implementación de un sistema de inteligencia artificial, radica en la formación de los médicos radiólogos en la utilización de estas tecnologías. Por otro lado, se indica que en su mayoría consideran una necesidad de adaptabilidad del plan de estudios, incorporando la enseñanza de la Inteligencia Artificial como parte de la currícula.

En conclusión, el médico radiólogo deberá contemplar la totalidad de las necesidades clínicas que son relevantes para su práctica, evaluando la utilización de herramientas de Inteligencia Artificial para satisfacer sus respectivas necesidades. Sumado a esto, los radiólogos deberán tener en consideración de los peligros que conlleva la dependencia absoluta de la Inteligencia Artificial y de las tecnologías que la aplican. El entrenamiento del personal de la salud es un punto clave a tener en cuenta, entendiendo que sus habilidades clínicas deben permanecer en constante crecimiento y que son ellos los que se deberán apoyar en la inteligencia artificial, beneficiándose de sus respectivas capacidades, para poder brindar un mejor cuidado del paciente (Puentes et al, 2021).

4.10. Solución a incertidumbre

Diferentes tipos de incertidumbres pueden tomarse en consideración. Sumado a esto, se pueden utilizar diferentes nombres para denotar diferencias entre los distintos tipos de incertidumbres existentes. Cada tipo de incertidumbre puede abordarse con herramientas conceptuales específicas para representarlas y gestionarlas, pero en general, el papel predominante lo desempeña la teoría de probabilidades y el aprendizaje automático o machine learning (Parson, 2001).

La utilización de diversas tecnologías, y en particular la Inteligencia Artificial, se han propuesto como una solución a la incertidumbre que rodea muchos aspectos o definiciones en la práctica de la salud (Cabitza et al, 2019):

- Incertidumbre en el diagnóstico: Clasificación de las condiciones propias de los pacientes.
- Incertidumbre en la patología: Razones por las que los pacientes desarrollan enfermedades.
- Incertidumbre en la terapia: Tratamiento que será apropiado para paliar la enfermedad.
- Incertidumbre en el pronóstico: Definición en la recuperación bajo tratamiento específico.

Como expresa el Dr. Daniel Mysler (2023), basándose en numerosos trabajos de investigación y diagnósticos por imágenes médicas, los sistemas construidos mediante el aprendizaje automático han demostrado un rendimiento superador en las diferentes áreas de la salud, asistiendo al médico en la toma de decisiones, brindando mayor precisión y reduciendo la incertidumbre al momento de diagnosticar.

La capacidad de la Inteligencia Artificial ha mostrado un rendimiento y productividad superadora en el diagnóstico por imágenes médicas, cambiando gradualmente el panorama de la salud e investigación, lo que lleva a especialistas, como es el caso de médicos radiólogos, oftalmólogos o dermatólogos, a considerar en gran medida este tipo de asistentes para el diagnóstico. Las aplicaciones para el

diagnóstico por imágenes han ampliado las fronteras de la Inteligencia Artificial hacia áreas que antes eran dominio absoluto de expertos. Esta frontera continúa expandiéndose hacia otras áreas de la medicina, como la práctica clínica y la investigación médica (Kun-Hsing Yu, 2018).

Un estudio expuesto en el *Journal of the National Cancer Institute* comparó el desempeño de un modelo de Inteligencia Artificial con algoritmo de Deep Learning, basado en redes neuronales, para la detección del cáncer de mamas a partir de mamografías digitales. Como conclusión se obtuvo que la precisión del sistema de Inteligencia Artificial, en la detección del cáncer, es equivalente al valor promedio de 101 médicos radiólogos que participaron del estudio, obteniendo un margen diferencial de 0.05 puntos. A pesar de que este tipo de estudios comparativos prevalecen, se coincide que el mayor valor y aporte de las tecnologías basadas en Inteligencia Artificial reside en los efectos sinérgicos de la interacción entre ambas partes, humano-máquina. Si bien los resultados obtenidos en los estudios son sorprendentes, el rendimiento e impacto de los sistemas todavía requieren de un mayor grado en cuanto a investigación y desarrollo (Rodríguez-Ruiz et al, 2019).

4.11. Barreras en la implementación de Inteligencia Artificial

Asegurando que el uso de la Inteligencia Artificial sea siempre ético, esta como muchas otras tecnologías, son una promesa para la salud y la práctica médica. Para lograr el objetivo de una implementación exitosa, en los diferentes ámbitos, será necesario superar una serie de barreras. Estas barreras, que enfrentan las organizaciones que desean implementar sistemas inteligentes, incluyen los desafíos comunes relacionados con los datos, el poder de cómputo y la disponibilidad del talento con las capacidades requeridas. Sumado a esto, existen desafíos más fundamentales como el acceso, la infraestructura y los recursos económicos, especialmente en regiones y comunidades rurales con dificultades para afrontar gastos. Abordar estas barreras es crucial para garantizar que la

Inteligencia Artificial sea accesible y beneficiosa para todos, sin dejar de lado a aquellos que se encuentran en situaciones desfavorables (Manyika y Bughin, 2018).

Según Carlo de Cecco y Marly van Assen (2022), la Inteligencia Artificial desempeña un papel crucial en el cuidado de la salud. Si bien la pandemia de COVID-19 aceleró las tendencias e implementación de diferentes sistemas inteligentes, se detectaron múltiples factores que pueden determinar el éxito y la sostenibilidad de un sistema de Inteligencia Artificial. Basándose en lo expuesto, se presentan los siguientes desafíos que influyen en el éxito del proceso de implementación y que son barreras por superar:

- **Educación de los pacientes**

La educación de los pacientes permite superar las barreras generacionales, culturales y educativas, garantizando la igualdad en los beneficios de la digitalización en el ámbito médico.

Médicos y entidades deberán trabajar en conjunto para aumentar la confianza de los pacientes en la Inteligencia Artificial.

- **Privacidad de datos, seguridad y accesibilidad**

Aunque la seguridad de los datos de los pacientes se encuentra asegurada y su privacidad garantizada, se deben establecer normativas que garanticen la colaboración y el intercambio de datos a fin de optimizar el desarrollo de la Inteligencia Artificial, minimizando los riesgos.

Una de las grandes preocupaciones, con el aumento de la disponibilidad y uso de la información para la Inteligencia Artificial, es la transparencia de los datos y los algoritmos que se utilizan.

- **Formación del personal de sanidad**

Para lograr un uso adecuado de la Inteligencia Artificial, las distintas áreas de salud deberán contar con un conocimiento básico de cada uno de los ámbitos y lograr optimizar la comunicación. La educación es la base de cualquier enfoque digital. El personal de salud deberá capacitarse en la

utilización de la plataforma y cómo lograr una comunicación fluida con los pacientes. En el caso de zonas rurales, el personal local deberá recibir capacitación sobre su uso y mantenimiento.

- **Mecanismos de financiación**

Se debe contar con un incentivo financiero que facilite y acompañe la iniciativa clínica en la inversión permitiendo la implementación del sistema con Inteligencia Artificial.

- **Regulación**

Para que el sistema tenga éxito, las regulaciones deben permitir el uso óptimo del modelo, teniendo en cuenta las licencias médicas, la responsabilidad y privacidad de la información.

La mayor barrera para la implementación de un sistema de inteligencia artificial radica en una cultura médica, donde se valora más la intuición, experiencia y conocimiento del médico que las soluciones respaldadas por evidencia y análisis de información. Es fundamental comprender que la Inteligencia Artificial es una herramienta complementaria en la toma de decisiones médicas, brindando un apoyo basado en datos y conocimientos que potencian las definiciones y prácticas clínicas. Adoptar una mentalidad abierta hacia la Inteligencia Artificial es esencial para aprovechar todo su potencial en beneficio de los pacientes y la medicina en general. Basado en esto, se plantea la necesidad de que los médicos comprendan que la Inteligencia Artificial no buscará reemplazarlos, sino que aquellos que la utilicen podrían reemplazar a aquellos que no lo hagan (Julia Díaz, s.f.).

Aunque se han implementado herramientas de inteligencia artificial como asistentes en la toma de decisiones médicas, existen representaciones y sesgos cognitivos que pueden limitar el acercamiento de los médicos a estas herramientas. Identificar estas interpretaciones permite conocer las ventajas que la inteligencia artificial provee, permitiendo delimitar el papel colaborativo de los profesionales de

la salud con expertos en tecnología, lo que facilitará distinguir los futuros riesgos. Es importante que el personal médico y las organizaciones reconozcan tanto los beneficios como los riesgos de la implementación de Inteligencia Artificial en la atención médica. Para ello, se requiere una educación desde el pregrado, que permita a los médicos reconocer el valor y aporte de la Inteligencia Artificial, así como conocer los desafíos y preocupaciones asociadas, asegurando una adecuada integración en la práctica clínica para obtener mejores resultados que beneficien tanto a ellos como al paciente (Rincón Garzón, 2023).

4.12. Creación de una nueva cultura de trabajo con Inteligencia Artificial

En la actualidad, la integración de la Inteligencia Artificial en el entorno laboral ha experimentado un gran progreso y se encuentra transformando la operatoria diaria de las empresas, sumando la laboral de sus empleados. Si bien su implementación ha generado preocupaciones compartidas en los distintos sectores, todos estos cambios traen aparejados una nueva creación de cultura laboral. En este caso, se hace centro en la colaboración entre las personas y los sistemas inteligentes, como también en la adopción de enfoques innovadores y eficientes al momento de tomar decisiones o resolver problemas (Gruetzemacher y Whittlestone, 2021).

Al abordar el impacto de la automatización en el mercado laboral, se requiere un relevamiento de la repercusión que esto generaría, analizando los diversos trabajos y sectores laborales que podrían alterar su naturaleza. Si bien la automatización de procesos se encuentra transformando el panorama laboral, existe la necesidad de una planificación estratégica y una inversión en la capacitación de la fuerza laboral que les permita una transición exitosa hacia el futuro del trabajo automatizado. La formación y capacitación continua hará que los trabajadores se adapten a nuevas demandas del mercado laboral, pero no necesariamente serán los procesos automatizados los que reemplacen por

completo a los trabajadores, sino que conllevará a un cambio en sus roles, responsabilidades y se requerirán nuevas habilidades (Manyika y Bughin, 2018).

El potencial de la Inteligencia Artificial abarca la totalidad de las industrias y sus respectivas funciones. Con la capacidad de ser utilizada para el mejoramiento del desempeño de las empresas, la virtud del aprendizaje profundo garantiza el análisis de grandes volúmenes de datos como el caso de audios e imágenes, permitiendo detectar anomalías y facilitando respuestas en tiempo real. Aunque muchas empresas se encuentren utilizando Inteligencia Artificial, el ritmo de adopción de la misma viene siendo irregular. De una encuesta realizada por McKinsey se identificó que, aquellas empresas que inicialmente adoptaron la Inteligencia Artificial como una solución, lo realizaban con el objetivo de expandirse en nuevos mercados o lograr aumentar su participación en los mismos. En cambio, aquellas compañías con una experiencia menor se enfocaban únicamente en reducir sus costos. Aquellas empresas que se encuentran más digitalizadas tienden a realizar una fuerte inversión en Inteligencia Artificial, buscando extraer el mayor provecho posible, aumentar el valor y lograr una mayor adopción (Manyika y Bughin, 2018).

Según Oracle (s.f.), para obtener el mayor provecho de la Inteligencia Artificial y evitar que su implementación exitosa se vea interrumpida por algún determinado problema, se requiere de una cultura laboral en equipo que respalde el ecosistema de la misma. Bajo este contexto, se observa la colaboración de diferentes roles clave en la implantación de los sistemas inteligentes:

- Los analistas empresariales y científicos de datos colaboran para identificar desafíos y metas específicas.
- Los ingenieros gestionan los datos y la infraestructura, garantizando su operabilidad para el análisis.
- Los científicos de datos se dedican a la preparación, exploración, visualización y modelado de datos en una plataforma.

- Los arquitectos de tecnología tienen la responsabilidad de administrar la infraestructura necesaria que respalde la ciencia de datos.
- Los desarrolladores de aplicaciones implementan modelos de Inteligencia Artificial para la creación de productos basados en los datos.

La Inteligencia Artificial ha generado un cambio de paradigma en el ámbito laboral y continuará haciéndolo a futuro. Aquellos que lograron captar y comprender su importancia entenderán que lograron influir en la cultura laboral de diversas maneras, logrando una transformación significativa en la forma en la que se trabaja y se organiza el trabajo de una empresa aportando (Kuepa, s.f.):

- **Automatización y mejora de procesos**
Empleando inteligencia artificial para automatizar tareas repetitivas, liberando a las personas de tareas rutinarias y monótonas, permitiendo concentrarse en labores de más creatividad y estrategia. Esto genera una mayor satisfacción laboral y fomenta la creatividad.
- **Definiciones basadas en datos**
La inteligencia artificial proporciona análisis y recomendaciones fundamentadas en datos, revolucionando la forma en que se toman decisiones en el entorno laboral. Ahora, los líderes pueden contar con información objetiva y fundamentada para tomar decisiones bien informados.
- **Desarrollo personal y aprendizaje continuo**
La integración de la inteligencia artificial impulsa a los empleados a adquirir nuevas habilidades para trabajar con tecnologías emergentes. Esto promueve una cultura de aprendizaje constante y desarrollo personal, en la que ellos trabajadores se mantienen actualizados y se adaptan a estos avances tecnológicos.

- Colaboración

La inteligencia artificial se convierte en una herramienta valiosa para la colaboración entre humanos y máquinas. Los sistemas pueden asistir en la generación de nuevas ideas, la resolución de problemas complejos y el trabajo conjunto en proyectos interdisciplinarios. Esta colaboración permite potenciar la capacidad de innovación y la eficiencia en los equipos de trabajo.

- Flexibilidad y trabajo remoto

Esta capacidad de trabajo y acceso influye en la cultura organizacional, fomentando la flexibilidad y la conciliación de la vida laboral con la personal.



Capítulo 5: Conclusiones

La inteligencia Artificial logró mejorar la calidad y atención médica, acelerando la investigación sobre los datos clínicos del paciente mediante algoritmos computacionales tales como Machine Learning, Deep Learning y Sistemas Expertos. Mediante estos mecanismos, se permitió una detección y prevención temprana de la enfermedad, dando un seguimiento detallado y agilizando el intercambio de información entre las distintas áreas médicas (Ahmed et al, 2020).

Aunque la pandemia COVID-19 haya acelerado la adopción de la Inteligencia Artificial y esta tecnología se haya vuelto convencional (Pombo y Gonzalez Alarcón, 2022), en la actualidad aún existe una leve resistencia por parte del área médica y personal de salud a la utilización de los sistemas de asistencia en la toma de decisiones, por razones como el miedo a perder el vínculo y sinergia con el paciente, como también la posibilidad a perder el control de la situación.

Basado en la investigación realizada, la existencia de la inteligencia artificial y como fue desarrollada y planteada no tiene posibilidad de sustituir al ser humano, sino que se encuentra coexistiendo, incluyéndose como un concepto colaborativa o híbrida, donde el control principal y esencial lo tiene el hombre, pero sabiendo que contara con esta tecnología, su asistencia y su disponible como herramienta de soporte en la toma de decisiones.

Ahora, si bien los resultados que se obtienen del análisis de imágenes cuentan con un grado de precisión muy elevado, se debe tener un control sobre los sistemas y resultados, entendiendo que los médicos radiólogos son moralmente responsables de los tratamientos y diagnósticos que se obtienen. Sumado a esto, las computadoras y sus respectivos algoritmos solo harán búsqueda, y futuro análisis, por métodos de comparación y no bajo una mirada médica. Su resultado final deberá ser sometido a un análisis médico como doble chequeo, para evitar posibles malas interpretaciones. Aun así, como muestra el caso de IBM, con su robot Watson, su aporte cuenta con un 83% de eficiencia, por lo que demás está

decir que es de gran utilidad al momento de considerarlo como una fuente relevante para el estudio o revisión retrospectiva.

Entre los grandes aportes que se encuentran en la implementación de sistemas inteligentes, como soporte para médicos radiólogos se puede analizar que, la Inteligencia Artificial permitirá acelerar y optimizar la velocidad a la que se obtienen los diagnósticos. Toda esta aceleración en el diagnóstico por imágenes permitirá y será de gran utilidad para el futuro desarrollo de nuevos tratamientos farmacéuticos, trayendo aparejado una reducción en costos y una personalización de los tratamientos. Además, se podrá contar con medicina personalizada y de precisión, donde se incluirán los datos genotípicos y fenotípicos. Por otro lado, se dispondrá de gran cantidad de datos no codificados hasta el momento, y que solo existen en historias clínicas electrónicas del paciente y sus respectivos sistemas sanitarios.

Los sistemas y procesos deben garantizar el control y supervisión de una persona, teniendo la posibilidad de elegir libremente para adoptar decisiones vitales bajo su conocimiento y diagnóstico, y no depender continuamente de una máquina con su respectiva inteligencia. Un escenario similar se puede dar cuando el médico de cabecera considera que el proceso de Inteligencia Artificial no es el adecuado para su paciente o no se adapta a su propio juicio.

Cuando lo que se encuentra en juego es la vida de una persona, la moralidad y la ética pasan a ser algo intrínseco a la profesión médica. La relación entre el médico y el paciente se ha caracterizado por la vocación asistencial y de ayuda a quien padece una enfermedad. Por el contrario, el sistema inteligente no cuenta con esa vocación o principio ético que permite actuar con compasión. En parte, esto se debe a que los sistemas no pueden aún basar su comportamiento en normas morales o reglas de conducta, como tampoco se pueden definir algoritmos para la búsqueda continua del bien. Los comportamientos éticos y las creencias de la persona son subjetivos y difícilmente podrían definirse como parte del comportamiento de un sistema con inteligencia artificial.

Si bien la Inteligencia Artificial y Machine Learning, se encuentran en pleno auge en el entorno de sistemas de sanidad, su utilización continuará creciendo hasta que su uso sea imprescindible en la atención médica futura. Esto se debe a que permite mejorar la productividad y calidad, tanto de los médicos como así también de proveedores de productos y servicios. Sumado a esto, y gracias a la automatización, el paciente podrá contar con una atención y seguimiento más personalizado que agilizará el acceso a la atención médica, mejorando la relación y calidad de información.

Así como la Inteligencia Artificial se puede utilizar para la detección de condiciones actuales que afecta al paciente, bajo la comparación de imágenes médicas, también se amplía su funcionalidad prediciendo, de forma temprana, los posibles y potenciales riesgos de enfermedades futuras. Con este aporte, sumado a la combinación de técnicas de imágenes de Inteligencia Artificial con datos clínicos, se logra mejorar los modelos predictivos, dando a los médicos la posibilidad de realizar análisis preventivos, evaluar los factores de riesgo, mejorar la precisión en el diagnóstico y tener, de esta forma, un mejor seguimiento de sus pacientes.

En la actualidad, la inteligencia artificial permite la automatización de tareas repetitivas, asistiendo en la planificación, el diagnóstico y dando una visibilidad del pronóstico del paciente, haciendo posible una atención sanitaria más eficiente. Bajo esta premisa, la implementación de un sistema con inteligencia artificial no solo supondrá una reducción en los costos, sino que permitirá analizar los resultados a distancia, lo que ayudará en una mejor distribución de los servicios de salud.

Al tratarse de un área en pleno crecimiento, con tecnologías disruptivas, el campo de investigación todavía continúa en una constante mejora. Dada esta razón, algunos de los puntos que podrían tomarse en consideración son: la necesidad de contar con registros médicos previos, una interfaz para los usuarios que sea amigable y una implementación de alta complejidad. Aun así, estos sistemas expertos facilitan el trabajo de múltiples profesionales mostrando tres grandes fortalezas, como es el caso de la rapidez en el análisis de múltiples datos con resultados inmediatos, la reutilización de evidencia generada por médicos

especialistas y, por último, la detección y asociación de múltiples variables de estudio.

Por otro lado, la preparación de los médicos, para la utilización de la inteligencia artificial en el diagnóstico por imágenes médicas, es fundamental para garantizar un uso efectivo y seguro, sacándole el mayor provecho posible, formándose, adquiriendo conocimientos y habilidades específicas que les permitan aprovechar las ventajas de estos sistemas inteligentes.

Es importante que los médicos comprendan los principios básicos de la inteligencia artificial y cómo funciona en el contexto de las imágenes médicas. Para ello, deben familiarizarse con los algoritmos y modelos utilizados, como también comprender su aplicabilidad y limitaciones. Esto les permitirá interpretar correctamente los resultados generados y poder tomar decisiones clínicas con fundamentos. Por otro lado, deben ser conscientes de las implicancias éticas y legales relacionadas con el uso de la inteligencia artificial, comprendiendo la importancia de proteger la privacidad y confidencialidad de sus pacientes, garantizando que la utilización de los sistemas inteligentes se alinee con los principios éticos y regulatorios establecidos.

Universidad de
San Andrés

Capítulo 6: Anexos

Anexo 1: Guía de preguntas para entrevista

A continuación, se detallan las preguntas de referencia que fueron utilizadas para conducir las entrevistas.

1. ¿Consideras a la inteligencia artificial en imágenes médicas una parte fundamental para el éxito del negocio?
2. ¿Consideras que la clínica se pueda transformarse en data driven, apoyado en Inteligencia Artificial, donde todas las decisiones estén optimizadas y apoyadas en los datos que se tienen?
3. ¿Encontraste obstáculos que complicaron la adopción de la Inteligencia Artificial?
4. Entendiendo que la herramienta, como asiste médico, provee un diagnóstico con una certeza que supera el 83% ¿Qué experiencias vivieron en el antes y después de la implementación de Inteligencia Artificial en el servicio de diagnóstico por imágenes?
5. La toma de decisiones que antes se realizaba por experiencia y conocimiento, ahora tiene un factor adicional que esta dado por la Inteligencia Artificial como soporte ¿Qué aporte y beneficio les sumo al diagnóstico por imágenes?
6. ¿Cómo impacta la implementación de Inteligencia Artificial al rol del médico especialista en diagnostico por imágenes?
7. Si tuvieras que recomendar una adaptación de tu carrera profesional, ¿qué nivel de importancia le darías a la utilización de Inteligencia Artificial y manejo de datos en el ámbito académico?

6.1. Entrevista #1: Lisandro Paganini

1. **¿Consideras a la inteligencia artificial en imágenes médicas una parte fundamental para el éxito del negocio?**

Sí, no en la actualidad, pero sí necesariamente en un futuro próximo, el que tenga asistencia de Inteligencia Artificial será más competitivo.

2. **¿Consideras que la clínica se pueda transformarse en data driven, apoyado en Inteligencia Artificial, donde todas las decisiones estén optimizadas y apoyadas en los datos que se tienen?**

Considero que será un valioso aporte a la decisión médica, aunque no necesariamente vinculante. Sin duda serán un apoyo e influirá en las decisiones médicas.

3. **¿Encontraste obstáculos que complicaron la adopción de la Inteligencia Artificial?**

Fundamentalmente en sus costos en países subdesarrollados y el obstáculo cultural, pero esto último va cambiando rápido en el medio radiológico, a favor de la inclusión de la Inteligencia Artificial en la optimización del flujo de trabajo y en la toma de decisiones.

4. **Entendiendo que la herramienta, como asiste médico, provee un diagnóstico con una certeza que supera el 83% ¿Qué experiencias vivieron en el antes y después de la implementación de Inteligencia Artificial en el servicio de diagnóstico por imágenes?**

El repensar los diagnósticos cuando la opinión del software es discordante con la del médico, pero siempre se prioriza la decisión médica que conoce al paciente y su historia. Tal vez el impacto es mayor en médicos menos experimentados, que pueden valerse de esta herramienta como un reaseguro de sus decisiones diagnósticas.

- 5. La toma de decisiones que antes se realizaba por experiencia y conocimiento, ahora tiene un factor adicional que esta dado por la Inteligencia Artificial como soporte ¿Qué aporte y beneficio les sumo al diagnóstico por imágenes?**

Va de la mano con la pregunta anterior. La experiencia y el conocimiento humano no son sustituidos, no ha llegado la Inteligencia Artificial a un nivel de inteligencia similar, que pueda considerar tantas variables en simultáneo y entender el contexto del paciente, pero si es un soporte en la toma de decisiones.

- 6. ¿Cómo impacta la implementación de Inteligencia Artificial al rol del médico especialista en diagnostico por imágenes?**

Como un asistente que optimiza el flujo de trabajo y ayuda en las decisiones diagnósticas.

- 7. Si tuvieras que recomendar una adaptación de tu carrera profesional, ¿qué nivel de importancia le darías a la utilización de Inteligencia Artificial y manejo de datos en el ámbito académico?.**

Hoy la Inteligencia Artificial en medicina y particularmente en imágenes, es equiparable a la aparición de una nueva modalidad diagnóstica como lo fue cuando empezó la resonancia magnética o la PET/CT. Los radiólogos debemos aprender un “nuevo método” pero que impactará transversalmente en todos los métodos, en todo lo que hacemos y cambiará tan rápido que debemos tener la plasticidad necesaria para adaptarnos al cambio mucho más rápido que hasta ahora.

6.2. Entrevista #2: Daniel Mysler

1. **¿Consideras a la inteligencia artificial en imágenes médicas una parte fundamental para el éxito del negocio?**

Si.

2. **¿Consideras que la clínica se pueda transformarse en data driven, apoyado en Inteligencia Artificial, donde todas las decisiones estén optimizadas y apoyadas en los datos que se tienen?**

Sin lugar a duda es el futuro de la medicina de precisión.

3. **¿Encontraste obstáculos que complicaron la adopción de la Inteligencia Artificial?**

Si, muchos.

En principio, Inteligencia Artificial y medicina era algo que se veía distante, probablemente daba miedo, pensaron que era para un futuro mucho más lejano y probablemente no se pensaba que las decisiones de una computadora podían cambiar las decisiones medicas acerca del comportamiento hacia los pacientes.

4. **Entendiendo que la herramienta, como asiste médico, provee un diagnóstico con una certeza que supera el 83% ¿Qué experiencias vivieron en el antes y después de la implementación de Inteligencia Artificial en el servicio de diagnóstico por imágenes?**

Es una transición, no cambia de un día para el otro, es un cambio de paradigma donde los médicos deben acostumbrarse a solicitar a la herramienta la valoración de una imagen, para poder avanzar en un mejor diagnóstico y con mayor certeza. El cambio cultural y paradigmático va a durar años, no va a ser de un día para el otro, hay gente que lo abraza más rápido que otra.

5. **La toma de decisiones que antes se realizaba por experiencia y conocimiento, ahora tiene un factor adicional que esta dado por la Inteligencia Artificial como soporte ¿Qué aporte y beneficio les sumo al diagnóstico por imágenes?**

-

6. **¿Cómo impacta la implementación de Inteligencia Artificial al rol del médico especialista en diagnostico por imágenes?**

En realidad, el impacto es en todas las áreas clínicas. A medida que pasan los años, todas las computadoras, todos los equipos, todas las modalidades van incorporando herramientas de Inteligencia Artificial, que a veces, sin darnos cuenta, nos hacen la vida mas fácil. En otras ocasiones ya se encuentran dentro del entorno clínico, pero no todo es clínico ya que hay herramientas de aceleración de procesos, de mejora en el flujo, etc.

7. **Si tuvieras que recomendar una adaptación de tu carrera profesional, ¿qué nivel de importancia le darías a la utilización de Inteligencia Artificial y manejo de datos en el ámbito académico?**

Nos encontramos incorporando al fellow de Diagnostico por Imágenes, que tenemos en oncología de imágenes mamarias, un módulo de herramientas básicas de Inteligencia Artificial y análisis de segmentación. Sumado a esto, nos encontramos trabajando para incorporar herramientas al uso diario, con gente joven, para que comience a entender la importancia que tiene.

6.3. Entrevista #3: Mariano Portillo

1. **¿Consideras a la inteligencia artificial en imágenes médicas una parte fundamental para el éxito del negocio?**

En particular, no considero que la Inteligencia Artificial sea necesaria para el éxito del negocio. Esto tiene que ver con que si bien las imágenes médicas, en el área en la que me desempeño, podrían ser ampliamente utilizada la Inteligencia Artificial. Ayudando a la mejora diagnóstica y a mayor precisión diagnóstica siempre hay un final, vuelta o situación que tiene que ver con la clínica, el razonamiento médico o las posibles interacciones. En medicina nuclear no solamente tiene que ver con lo que se está visualizando sino además con metabolismo de este. Sabemos que los hipo o hiper metabolismos de los medicamentos, en medicina nuclear, no siempre tienen que ver solamente con la capacidad de visualización del equipo, sino que va a tener que ver mayormente con la distribución del fármaco desde lo fisiológico o metabólico. Por esta razón, no considero que sea un éxito o una necesidad imperiosa la utilización de la Inteligencia Artificial en medicina nuclear, pero si considero que va a mejorar el diagnóstico.

2. **¿Consideras que la clínica se pueda transformarse en data driven, apoyado en Inteligencia Artificial, donde todas las decisiones estén optimizadas y apoyadas en los datos que se tienen?**

Si, considero que el apoyo del análisis de información, a través de la Inteligencia Artificial, de estos datos, multiplicados por cientos de experiencias, puedan apoyar sobre todo las situaciones más difíciles de resolver. Lo sencillo, donde el patrón se parece a otra cuestión y su similitud es tal que termina siendo compatible, o en aquellas situaciones donde no se parece en absolutamente nada. Por la negativa o por la positiva, el apoyo de la información de datos va a consolidar el diagnóstico.

El problema surge en los grises, donde hay enfermedades comitentes, donde tanta cantidad de datos puede llegar a confundir la situación. En la situación actual, estos casos grises resultan difíciles de tomar los datos verdaderos

para un lado o para el otro cuando el dato es muy leve para uno de los extremos, sin tomar en consideración el resto de la información que surja de ese paciente.

En medicina nuclear, dependiente de la fármaco cinética del paciente, de los antecedentes del paciente, de la consideración del antecedente y de cómo resuelva desde lo clínico, metabólico, fisiológico y anatómico ese paciente, lo que le está sucediendo, la imagen tendrá un resultado diferente y va a tener un impacto claramente en la decisión clínica a tomar. La inteligencia artificial, con tanta variable podría ayudar menos que las situaciones extremas.

3. ¿Encontraste obstáculos que complicaron la adopción de la Inteligencia Artificial?

En cuanto a lo instrumental, los obstáculos tienen que ver con procesos de aprendizaje, utilización de las herramientas, consideración de los resultados, discusión de los resultados que puedan ser consensuados entre profesionales, que puedan entenderse en un ámbito clínico. Al ser un proceso que lleva tiempo, siempre es difícil lograr ese tiempo y espacio como curva de aprendizaje para una herramienta que actualmente nadie ve que necesita para resolver. Desde ese lugar, muchas veces el análisis cualitativo para la interpretación de una imagen alcanza diciendo que se comporta de determinada manera. Hoy, tener otro tipo de certezas o mayor certeza o un porcentaje de certeza podría no modificar la decisión clínica, por lo que nadie lo ve como una necesidad. Por estas razones, el obstáculo del aprendizaje se vuelve lento y muy dependiente de la impronta personal.

4. Entendiendo que la herramienta, como asiste médico, provee un diagnóstico con una certeza que supera el 83% ¿Qué experiencias vivieron en el antes y después de la implementación de Inteligencia Artificial en el servicio de diagnóstico por imágenes?

Como venimos conversando, el 83% de la certeza diagnóstica no es como un valor predictivo positivo o un valor predictivo negativo. Hoy hay prácticas que cuentan con valor predictivo positivo, que es superior al 80% y hasta valores de 90% o con comitantes con otros estudios. Por ejemplo, estudios híbridos de PET/CT, PET/SPEC, PET/RESONANCIA donde es indiscutible lo que se ve en la imagen. En estos casos ejemplo es donde el valor de la Inteligencia Artificial, para mi forma de pensar, se pierde. Cuando uno ve la imagen ya sabe lo que es, no requiere la aplicación de un algoritmo para entender, dentro del contexto del paciente, lo que eso significa.

Entiendo que los lugares donde está muy claro lo que es, o muy claro lo que no es, la Inteligencia Artificial no tiene un valor. En el lugar de los grises, ¿qué valor o que peso le damos en el estadio o manejo clínicos a los valores de 60% vs 50%?, ¿se debería cambiar la conducta por ese 10%? ¿40% es diferente de 60%? ¿cuán diferente es? Y es bajo estas premisas que se hace la diferencia y se podría ajustar con datos clínicos probados para asegurar que algo se ha modificado y cambiado.

5. La toma de decisiones que antes se realizaba por experiencia y conocimiento, ahora tiene un factor adicional que esta dado por la Inteligencia Artificial como soporte ¿Qué aporte y beneficio les sumo al diagnóstico por imágenes?

El diagnóstico por imágenes tiene limitaciones técnicas como cualquier otra técnica que es aplicada a diferentes áreas, en este caso a la salud, que tendrá que ver con la capacidad de ver o de mostrar lo que esa técnica puede hacer.

En el caso de la medicina nuclear, va a tener que ver con la capacidad de los equipos de detectar y de los radiofármacos de fijarse al órgano diana. La

radiología, tendrá que ver con la capacidad de los rayos X de atenuar un tejido y ofrecer así diferencias. Después, se tendrá que analizar la capacidad que tendrán los diferentes softwares de adquisición y procesamiento, demostrando esas diferencias, para que la persona que se encuentre del otro lado pueda interpretarlas.

En este sentido, la Inteligencia Artificial aporta algo muy sustancial que tendrá que ver con minimizar esas barreras, donde las dificultades técnicas o de adquisición o de visualización permita tomar una decisión de que es lo que estamos viendo, ponerle un nombre a esa imagen diagnóstica, para que no sea mal interpretada.

Si la Inteligencia Artificial permitiera hacer un avance sobre las capacidades de ver e interpretar lo que estamos viendo, es donde encontraría el nicho que haría la diferencia y sumaría a un diagnóstico más preciso y veloz.

6. ¿Cómo impacta la implementación de Inteligencia Artificial al rol del médico especialista en diagnóstico por imágenes?

Desde el punto de vista de la pregunta, el impacto es profundo.

El primero de ellos es muy claro y beneficioso que tiene que ver con la capacidad de observar y de ser más preciso en el diagnóstico.

Pero también cuenta con otro que es negativo, que al encontrar una patología y una imagen que, según los algoritmos diagnósticos, cuenta con un porcentaje de ir para un lado o para otro en su diagnóstico. Esto, a ojo médico, no pareciera determinante e incluso el valor de encontrar algo que pareciera una enfermedad a futuro y que actualmente no se encuentre desarrollada. ¿Cuál es el valor que le vamos a dar a eso en la clínica? ¿Cuál va a ser el valor frente al paciente? ¿cuál va a ser la responsabilidad ética de informar esto en un bajo porcentaje? Que tenga un porcentaje bajo hace que exista y si existe, el paciente debería de saberlo. ¿Qué valor le vamos a dar desde la imagenología a lo que los médicos cuestionen como la compatibilidad de esa imagen comparada con una base de datos? Hoy la medicina se permite esos grises, indicando que la imagen es no determinada

para eso, cuando se calcula que el porcentaje de similitud, a lo que estamos suponiendo, es bajo. Ahora, con un número por detrás, ¿cambiará la apreciación y valor de lo que el otro piensa que es poco o mucho? Este es un dilema ético que debe ser valorado para la consideración del resultado que se obtiene con la utilización de Inteligencia Artificial en imágenes.

7. Si tuvieras que recomendar una adaptación de tu carrera profesional, ¿qué nivel de importancia le darías a la utilización de Inteligencia Artificial y manejo de datos en el ámbito académico?

Creo que debería existir una adaptación de las formaciones.

Considero que las formaciones de grado en salud han sido poco actualizadas en el último tiempo. Estas instancias deberían existir donde los profesionales de la salud puedan formarse en ciencias de datos, que les permitan entender las herramientas, utilizarlas de forma básica y tener un acercamiento a la existencia de estas herramientas. Seguramente no será central, al menos en este momento, pero si debemos formarnos y que no sea algo que desconocemos completamente o que no existe o no sepamos utilizar ni interpretar. Aunque desde esa formación general, debería ser incluida en la formación básica.

Universidad de
San Andrés

6.4. Entrevista #4: Alejandra Salgado

1. **¿Consideras a la inteligencia artificial en imágenes médicas una parte fundamental para el éxito del negocio?**

Si, hoy en día si uno quiere mantenerse vigente necesita incorporar la Inteligencia Artificial (IA) como parte del servicio que se le brinda al paciente a la hora de proporcionar el diagnóstico más preciso, herramienta que considero fundamental en el área de Oncoimágenes.

2. **¿Consideras que la clínica se pueda transformarse en data driven, apoyado en Inteligencia Artificial, donde todas las decisiones estén optimizadas y apoyadas en los datos que se tienen?**

Si, me parece un soporte óptimo para el médico tratante a la hora de tomar una decisión. Eso no implica que se realice tal cual y textual esté en el programa. Doy un ejemplo: el paciente no desea por motivos personales realizarse un determinado estudio que es el Gold Standard en X patología. Si no lo quiere hacer yo no lo puedo obligar (le puedo explicar todas las ventajas de X estudio, pero la decisión es del paciente). Otro ejemplo: Si tengo un niño de 1 año que debe recibir X antitérmico y se prueba varias veces y no se consigue que lo tome, de deberá optar por la 2da mejor opción disponible. También es relevante los recursos económicos con lo que se cuenta. Por ejemplo, si tengo un paciente candidato a realizarse un PET/ CT con PSMA pero su prepaga no la cubre y él no puede pagarlo particular se debe optar por la 2da mejor opción y así puedo seguir indefinidamente. Es un soporte eficiente que agiliza los tiempos de pensar y buscar estrategias, pero al final del día la decisión o lo que se termina haciendo se verá influenciada por otros factores.

3. **¿Encontraste obstáculos que complicaron la adopción de la Inteligencia Artificial?**

Por ahora los obstáculos son económicos fundamentalmente. En mi caso particular me voy capacitando sola, ya que es algo nuevo y en nuestra

formación no estaba ni siquiera planteado. Las futuras generaciones quizás lo tengan más fácil. En IAF se ha comenzado a utilizar Radioval como parte de un primer acercamiento a Inteligencia Artificial. Por ahora yo no participo porque solo se está haciendo con el área de imágenes mamarias, pero apenas se amplifique para el área de cuerpo (todo lo que no es glándula mamaria) de seguro podré sumarme.

- 4. Entendiendo que la herramienta, como asiste médico, provee un diagnóstico con una certeza que supera el 83% ¿Qué experiencias vivieron en el antes y después de la implementación de Inteligencia Artificial en el servicio de diagnóstico por imágenes?**

Todavía está en implementación y no tengo datos para confirmar ni refutar esta premisa.

- 5. La toma de decisiones que antes se realizaba por experiencia y conocimiento, ahora tiene un factor adicional que esta dado por la Inteligencia Artificial como soporte ¿Qué aporte y beneficio les sumo al diagnóstico por imágenes?**

Todavía no la pude utilizar personalmente como herramienta, pero al grupo de mama que trabaja conmigo observo que le agiliza los tiempos de informes (por ende, de productividad). Pero nunca supera a un médico/a entrenada. Ayuda mucho, pero hay cosas que per se no se pueden enseñar a una máquina. Te doy un ejemplo: una lesión que la máquina interpreta como “indeterminada” y el médico de imágenes sugiere biopsiar puede pasar que sea maligno o sea benigno. La decisión de biopsiar a veces no se fundamenta únicamente en datos analíticos, a veces se fundamenta en el contexto clínico del paciente y a veces el paciente a pesar de que los datos digan que sólo se debe controlar el paciente se quiere biopsiar igual y hay que hacerlo (salvo que represente un riesgo para él o haya contraindicaciones hay que hacerlo)

6. ¿Cómo impacta la implementación de Inteligencia Artificial al rol del médico especialista en diagnóstico por imágenes?

Considero que agilizará los tiempos. En mi caso particular de Oncoimágenes me ayudaría a agilizar los tiempos de informes (que suelen ser extensos por la complejidad de los pacientes que manejamos en nuestra Institución) y ayudará a priorizar aquellas patologías intercurrentes que son urgentes. Te doy un ejemplo: un paciente con cáncer de páncreas que se hizo una TC con contraste ambulatoria y tiene un tromboembolismo pulmonar quizás yo me entero al día siguiente cuando agarre el estudio de mi lista de trabajo y ahí me entero de que tiene esto. Eso hizo perder tiempo valioso de terapéutica que seguramente si la IA hubiera detectado el trombo sería el primer estudio que tomaría para informar y sería la primera llamada telefónica al médico tratante para solucionar este problema

7. Si tuvieras que recomendar una adaptación de tu carrera profesional, ¿qué nivel de importancia le darías a la utilización de Inteligencia Artificial y manejo de datos en el ámbito académico?

Me parece que estaría bueno que se enseñe en la residencia (de cualquier especialidad) como parte de la currícula. No me parece relevante durante el pregrado ya que ahí se debe enseñar el cara a cara con el paciente y no a depender de la tecnología, sino a formar sujetos pensantes y criteriosos. Luego ya tendrán tiempo en una especialidad básica de incorporarse IA, ya que considero que si se da a muy tempranas etapas de la formación se pierde la capacidad de discriminar las cosas. Tiene que ser una herramienta de un sujeto ya formado, no que sustituya el pensamiento crítico. Ese es mi mayor miedo para las nuevas generaciones: que se olviden de pensar por si mismos y dependan exclusivamente de una máquina o software para tomar decisiones.

6.5. Entrevista #5: Fernando Lozada

1. ¿Consideras a la inteligencia artificial en imágenes médicas una parte fundamental para el éxito del negocio?

Si, cada vez tiene más impacto en los tiempos de estudio, calidad de imágenes y en brindar/simplificar herramientas diagnósticas en los informes. Eso se traduce en menos tiempo de pacientes dentro de los equipos de TC y RM, mayor precisión en la interpretación de los estudios y globalmente en mejores resultados para el diagnóstico y manejo terapéutico de los pacientes.

2. ¿Consideras que la clínica se pueda transformarse en data driven, apoyado en Inteligencia Artificial, donde todas las decisiones estén optimizadas y apoyadas en los datos que se tienen?

Si, progresivamente.

3. ¿Encontraste obstáculos que complicaron la adopción de la Inteligencia Artificial?

Costos y desconocimiento.

4. Entendiendo que la herramienta, como asiste médico, provee un diagnóstico con una certeza que supera el 83% ¿Qué experiencias vivieron en el antes y después de la implementación de Inteligencia Artificial en el servicio de diagnóstico por imágenes?

-

5. La toma de decisiones que antes se realizaba por experiencia y conocimiento, ahora tiene un factor adicional que esta dado por la Inteligencia Artificial como soporte ¿Qué aporte y beneficio les sumo al diagnóstico por imágenes?

-

6. ¿Cómo impacta la implementación de Inteligencia Artificial al rol del médico especialista en diagnóstico por imágenes?

Permite simplificar / automatizar tareas o herramientas facilitando o acelerando su uso. También brinda herramientas de soporte diagnóstico para casos con dificultad en la interpretación, aunque debe ser supervisada.

7. Si tuvieras que recomendar una adaptación de tu carrera profesional, ¿qué nivel de importancia le darías a la utilización de Inteligencia Artificial y manejo de datos en el ámbito académico?

Alto. En pocos años demostró un desarrollo muy importante que se derrama desde otros y hacia otros ámbitos.



6.6. Entrevista #6: Médica Especialista en Diagnóstico por Imágenes

1. **¿Consideras a la inteligencia artificial en imágenes médicas una parte fundamental para el éxito del negocio?**

Hoy en día la Inteligencia Artificial esta aun en pañales respecto a la utilización en el campo del diagnóstico por imágenes, recién están haciendo los primeros acercamientos a su implementación. Creo que con el paso del tiempo va a ser un requerimiento para seguir en el mercado, pero aún estamos lejos de eso.

2. **¿Consideras que la clínica se pueda transformarse en data driven, apoyado en Inteligencia Artificial, donde todas las decisiones estén optimizadas y apoyadas en los datos que se tienen?**

No creo que pueda independizarse del ojo clínico del humano pero que si va a acelerar procesos y ser una herramienta relevante.

3. **¿Encontraste obstáculos que complicaron la adopción de la Inteligencia Artificial?**

Los obstáculos para su implementación son simplemente estar en los inicios del proceso y todavía no tienen implicancias por ser un proyecto inmaduro. Con el tiempo se podría adoptar y pasar a ser imprescindibles.

4. **Entendiendo que la herramienta, como asiste médico, provee un diagnóstico con una certeza que supera el 83% ¿Qué experiencias vivieron en el antes y después de la implementación de Inteligencia Artificial en el servicio de diagnóstico por imágenes?**

Son pocas las experiencias en primera persona, en algunos casos son de utilidad y en otros realmente vemos que no son fiables, quizás porque estamos en un medio con poco recurso económico al ser latinoamericanos. Creo que la mayor utilidad se da en los procesos que requieren una observación objetiva y comparativa que mejora la valoración de los hallazgos.

5. **La toma de decisiones que antes se realizaba por experiencia y conocimiento, ahora tiene un factor adicional que esta dado por la Inteligencia Artificial como soporte ¿Qué aporte y beneficio les sumo al diagnóstico por imágenes?**

Respondida en la pregunta anterior.

6. **¿Cómo impacta la implementación de Inteligencia Artificial al rol del médico especialista en diagnostico por imágenes?**

El principal rol de la IA resuelve procesos que eran más largos y tediosos como el recuento de lesiones o mediciones que son objetivas, pero a la hora de interpretar las imágenes es necesario el aporte del médico radiólogo.

7. **Si tuvieras que recomendar una adaptación de tu carrera profesional, ¿qué nivel de importancia le darías a la utilización de Inteligencia Artificial y manejo de datos en el ámbito académico?**

En la actualidad la implicancia es mínima y tiene miles de falencias, pero con el pasar del tiempo va a hacerse cada vez más fundamental su utilización.

Universidad de
San Andrés

6.7. Entrevista #7: Antonella Ovando

1. ¿Consideras a la inteligencia artificial en imágenes médicas una parte fundamental para el éxito del negocio?

Si, porque la ética de la Inteligencia Artificial colabora en la automatización de determinados procesos, participando de una manera que el humano deje de hacer tareas donde pueden ser reemplazadas con la tecnología y así puede estar aportando en otro ámbitos o temas.

Hasta ahora, veníamos trabajando con modelos de machine learning de la manera tradicional, una etapa previa a lo que es el boom de la Inteligencia Artificial Generativa. Estos modelos de machine learning tienen su entrenamiento con datos y va a dar respuesta a ciertas tareas o resultados esperados, de manera lineal.

En cuanto a la Inteligencia Artificial Generativo, la diferencia radica en que nosotros podemos partir del modelo fundacional, que cuenta con un preentrenamiento de mucha información de datos no etiquetados y contruidos en un tipo específico de red neuronal. Esto permite dar diferentes resultados, diferentes tareas de lo que uno espera que haga, con un mismo modelo. Un claro ejemplo de esto es ChatGPT, que es un modelo fundacional, puntualmente de texto.

Para un modelo que esté orientado a medicina, se parte de uno haciendo un entrenamiento con casos más puntuales para obtener las respuestas que estamos esperando. Si bien es una visión más general, esto se puede llevar a diferentes casos de uso, como puede ser el de Imágenes médicas, y como detectar determinadas patologías con la asistencia de la Inteligencia Artificial. Siempre debemos considerar que se pueden presentar ciertos sesgos por lo que es importante remarcar el ciclo de vida de nuestros modelos, donde debemos estar pendiente de los resultados obtenidos para hacer ajustes y que siga siendo exitoso.

2. **¿Consideras que la clínica se pueda transformarse en data driven, apoyado en Inteligencia Artificial, donde todas las decisiones estén optimizadas y apoyadas en los datos que se tienen?**

Si, es parte de que una organización empiece a pensar en la transformación digital. Con esto garantizarse el tener una vista 360 del paciente, con una inteligencia artificial más confiable. Sumado a esto, la optimización y automatización de procesos como también la atención al cliente. Es importante considerar el tipo de experiencia que le voy a estar entregando al paciente, para proveerle información segura y transparente.

3. **¿Encontraste obstáculos que complicaron la adopción de la Inteligencia Artificial?**

Lo más común que nos sucede es recibir al cliente con la idea de implementar un sistema de Inteligencia Artificial y poder tener un modelo con resultados. Sin embargo, no cuentan con la suficiente información mínima como para comenzar a desarrollar un modelo y un entrenamiento. Aunque sea un requisito básico, no tienen los datos necesarios como para lograr una adopción. La información y métricas no se pueden inventar, los datos deben ser reales como para partir de una base y poder obtener resultados.

Si bien las cuestiones de seguridad no las considero un obstáculo, se debe tener en consideración para poder desarrollar la inteligencia artificial. Bajo esta premisa, la adopción se vuelve un proceso más lento y requiere más tiempo, ya que hay que hacer un resguardo seguro de la información. La inteligencia Artificial provee información que sea completamente segura.

4. **Entendiendo que la herramienta, como asiste médico, provee un diagnóstico con una certeza que supera el 83% ¿Qué experiencias vivieron en el antes y después de la implementación de Inteligencia Artificial en el servicio de diagnóstico por imágenes?**

Con la implementación de un sistema como Watson, un médico de diagnóstico por imágenes puede llegar a valorar esas métricas y diferencias,

entendiendo que su tiempo laboral puede utilizarse para nuevos desafíos y no tanto para tareas repetitivas, que pueden ser automatizadas por medio de la Inteligencia Artificial.

Por otro lado, con Watson se resuelve el creciente volumen de datos, aportando un diagnóstico con mayor rapidez, asistiendo en la resolución de los casos y asistiendo en la toma de decisiones. En resumen, pudimos ver que el sistema de Inteligencia Artificial de IBM es un aliado al momento de buscar segundas opciones o una mayor claridad.

Desde IBM aportamos en nuevas visiones, para allanar el camino y buscar la automatización de los flujos de trabajos repetitivos, entendiendo que es la Inteligencia Artificial quien deba hacerse cargo de estos trabajos.

5. La toma de decisiones que antes se realizaba por experiencia y conocimiento, ahora tiene un factor adicional que esta dado por la Inteligencia Artificial como soporte ¿Qué aporte y beneficio les sumo al diagnóstico por imágenes?

Anteriormente se trabajaba bajo un conocimiento y experiencia médica, pero con la llegada de Inteligencia Artificial al servicio de diagnóstico por imágenes se dio un gran giro. Depositamos nuestra confianza en el sistema, porque somos nosotros mismos los que entrenamos de forma adecuada y esperable, en las respuestas a las que podríamos obtener.

Si bien los modelos no son lineales a lo largo del tiempo, por el tema de los sesgos que mencione con anterioridad, se pueden comenzar a desvirtuar en las respuestas y es importante mantener siempre nuestra información totalmente actualizada, entendiendo que esta es parte de la respuesta que vamos a estar esperando.

El trabajo de entrenamiento no es algo que se hace por única vez, necesitamos darle un seguimiento y perfeccionamiento, para que el sistema haga su mejor aporte hacia los médicos y que el informe médico final no cuente con omisiones involuntarias. Este último aporte hace de la Inteligencia Artificial un gran beneficio para el área diagnóstico.

6. ¿Cómo impacta la implementación de Inteligencia Artificial al rol del médico especialista en diagnóstico por imágenes?

La Inteligencia Artificial debe ser un complemento para un especialista médico.

La ética de la Inteligencia Artificial indica que no viene a reemplazar al humano, sino que viene a ayudar y asistirlo, realizando determinadas tareas que pueden ser automatizadas por medio de la tecnología, logrando de esta manera una mejor optimización de los tiempos y brindando al médico la posibilidad de aportar valor en algo que favorezca su crecimiento, basado en sus estudios, experiencia y habilidades.

Desde mi punto de vista, la Inteligencia Artificial debe ser un complemento que aporte resultados confiables.

7. Si tuvieras que recomendar una adaptación de tu carrera profesional, ¿qué nivel de importancia le darías a la utilización de Inteligencia Artificial y manejo de datos en el ámbito académico?

Buscaría que la implementación de la Inteligencia Artificial y el manejo de datos se expanda en la totalidad de las especialidades, áreas, ámbitos, etc.

La tecnología tiene el fin de acompañar y resolver un montón de cuestiones que sabemos que pueden llevar un esfuerzo grande. En la medida que podamos utilizar la Inteligencia Artificial, en todos sus aspectos dentro de una organización, va a mejorar los resultados y métricas de trabajo, logrando una muy buena performance.

En cuanto área de la salud, la Inteligencia Artificial busca que su rol logre una adaptación y confianza médica creciente.

Capítulo 7: Bibliografía

Ahmed Zeeshan, Khalid Mohamed, Saman Zeeshan, XinQi Dong, (17 de Marzo de 2020). Artificial intelligence with multi-functional machine learning platform development for better healthcare and precision medicine. Database The Journal of Biological Database and Curation.

Alejandro Rodriguez-Ruiz, Kristina Lång, Albert Gubern-Merida, et al. (Septiembre 2019) Stand-Alone Artificial Intelligence for Breast Cancer Detection in Mammography: Comparison With 101 Radiologists, JNCI: Journal of the National Cancer Institute, Volume 111, Issue 9.

Alpaydin Ethem (2020). Introduction to Machine Learning. Fourth Edition. Cambridge, Massachusetts. The MIT Press.

Amir Gandami, Murtaza Haider, (Abril 2015). Beyond the hype: Big data concepts, methods, and analytics. International Journal of Information Management. Elsevier.

Anne Trafton (7 de Agosto de 2023). AI model can help determine where a patient's cancer arose. MIT News. Recuperado el 9 de Agosto de 2023 de <https://news.mit.edu/2023/ai-model-can-help-determine-where-patients-cancer-arose-0807>

Archiles Aleksis (s.f.). Tecnología y medicina ¿Qué es la inteligencia artificial médica?. Eclipse Inteligencia Artificial. Recuperado el 09 de Octubre de 2022 de [Tecnología y medicina ¿Qué es la inteligencia artificial médica? \(elipse.ai\)](https://eclipse.ai/tecnologia-y-medicina-que-es-la-inteligencia-artificial-medica/)

Ardila, Ruben (2010). "Inteligencia. ¿Qué sabemos y qué nos falta por investigar?" Rev. Acad. Colomb. Cienc. 35 (134): 97-103, 2011. ISSN 0370-3908.

Arenas Guillermo (10 de Septiembre de 2021). Inteligencia Artificial al servicio de la medicina: así ayuda a conseguir diagnósticos más certeros. El País. Recuperado el 10 de Octubre de 2022 de <https://elpais.com/sociedad/siempre-innovando/2021-09-10/inteligencia-artificial-al-servicio-de-la-medicina-asi-ayuda-a-conseguir-diagnosticos-mas-certeros.html>

Ávila-Tomás Jose, Mayer-Pujadas Miguel, Quesada-Varela Victor (Enero de 2021). La Inteligencia Artificial y sus aplicaciones en medicina II: importancia actual y aplicaciones prácticas. Vol. 53, Issue 1, Elsevier España.

AWS (s.f.). ¿Qué es una red neuronal?. Recuperado el 3 de Junio de 2023 de <https://aws.amazon.com/es/what-is/neural-network/>

Berkeley Lovelace Jr, John Torres, Marina Kopf, Patrick Martin (11 de Abril de 2023). Promising new AI can detect early signs of lung cancer that doctors can't see. NBC News. Recuperado el 25 de Agosto de 2023 de <https://www.nbcnews.com/health/health-news/promising-new-ai-can-detect-early-signs-lung-cancer-doctors-cant-see-rcna75982>

Bonales Gema, Pradilla Nuria, Citlali Eva, (13 de diciembre de 2020). Chatbot como herramienta comunicativa durante crisis sanitaria de la COVID-19 en España. ComHumanitas Revista científica de comunicación.

Bazoukis George, Hall Jennifer, Loscalzo Joseph, et al. (18 de enero de 2022). The inclusion of augmented intelligence in medicine: A framework for successful implementation. Cell Reports Medicine. Vol 3, Issue 1.

Cabitzza Federico, Ciucci Davide, Rasoini Raffaele (Enero, 2019). A giant with feet of clay: on the validity of the data that feed Machine Learning in Medicine: IT for Individuals, Communities and Societies. Organizing for the Digital World.

Carlo de Cecco, Marly van Assen (2022). Inteligencia Artificial y telemedicina en el sector de la salud. Oportunidades y desafíos. Informe 4. CAF. Banco de desarrollo de América Latina.

Clavijo Rodriguez Lucia, Bernal Valencia Marcelo, Silva John (13 de Diciembre de 2006). Archivos de Medicina, Num. 12. Universidad de Manizales. Colombia.

Coiera Enrico, (04 de Marzo de 2013). Why e-health is so hard.

Corrado Greg (23 de Febrero de 2023). Google Research, 2022 & beyond: Health. Recuperado el 4 de Agosto de 2023 de <https://ai.googleblog.com/2023/02/google-research-2022-beyond-health.html>

Corrado Greg, Yossi Matias (14 de Marzo de 2023). Our latest health AI research update. Health. Google Research. Recuperado el 4 de Agosto de 2023 de <https://blog.google/technology/health/ai-llm-medpalm-research-thecheckup/>

Corporación CORE (26 de enero de 2023). 7 enfoques de Inteligencia Artificial que seguirán marcando tendencia en 2023. Recuperado el 23 de Mayo de 2023 de <https://www.linkedin.com/pulse/7-enfoques-de-inteligencia-artificial-que-seguir%C3%A1n-marcando-/?trk=pulse-article&originalSubdomain=es>

Cortina A. (5 de junio de 2019). “Ética de la inteligencia artificial desde Europa”, tribuna, Diario El País. Recuperado el 15 de Septiembre de 2022 de https://elpais.com/elpais/2019/06/05/opinion/1559729489_306891.html

Cotino Hueso, Lorenzo. (2017). Big data e inteligencia artificial. Una aproximación a su tratamiento jurídico desde los derechos fundamentales. Dilemata, (24), 131–150. Recuperado el 28 de Abril de 2023 de <https://www.dilemata.net/revista/index.php/dilemata/article/view/412000104>

Davenport Thomas, Dyché Jill (Mayo de 2013). Big Data in Big Companies. International Institute for Analytics.

David Rumelhart, Geoffrey Hinton, Ronald Williams (9 de Octubre de 1986). Learning representations by back-propagating errors. Nature.

Deepak Kumar (17 de mayo de 2020). Four ways in which Watson is transforming the healthcare sector. Healthcare. Recuperado el 8 de agosto de 2023 de [Four ways in which Watson is transforming the healthcare sector | Healthcare Digital \(healthcare-digital.com\)](https://www.healthcare-digital.com/four-ways-in-which-watson-is-transforming-the-healthcare-sector/)

Díaz Julia (s.f.). La realidad de la Inteligencia Artificial en Salud. Instituto de ingeniería del conocimiento. Recuperado el 2 de septiembre de 2023 de <https://www.iic.uam.es/lasalud/realidad-inteligencia-artificial-salud/>

Erick Roch Moraquez (s.f.). Que es ELIZA (Famoso programa que simula una inteligencia artificial): ¿cómo funcionaba y para qué servía?. Recuperado el 16 de Mayo de 2022 de <https://lovtechnology.com/que-es-eliza-famoso-programa-que-simula-una-inteligencia-artificial-como-funcionaba-y-para-que-servia/>

Erin Blakemore (1 de Marzo de 2023). La nueva IA podría superar el famoso Test de Turing; este es el hombre que lo creó. National Geographic.

Fred O'Connor (14 de Abril de 2015). La división Watson Health incorporará datos de Apple. España CIO. Recuperado el 27 de Julio de 2023 de <https://www.ciospain.es/sanidad/la-division-watson-health-incorporara-datos-de-apple>

Garcia Olalla Olivera Oscar (16 de septiembre de 2019). Redes Neuronales artificiales: Qué son y cómo se entrenar. Xeridia. Recuperado el 3 de Junio de 2023 de <https://www.xeridia.com/blog/redes-neuronales-artificiales-que-son-y-como-se-entrenan-parte-i>

González Alarcón Natalia, Pombo Cristina (Abril 2020). ¿Cómo puede la inteligencia artificial ayudar en la pandemia?. Banco Interamericano de Desarrollo.

Goodfellow Ian, Bengio Yoshua, Courville Aaron (29 de Octubre de 2017). Deep Learning. The MIT Press.

Goodman Bryce & Flaxman Seth (31 de Agosto de 2016). European Union regulations on algorithmic decision-making and a "right to explanation". AI magazine

Granieri Marcelo (5 de marzo de 2023). ¿Qué es la Inteligencia Artificial Generativa?. OBS Business School. Recuperado el 22 de septiembre de 2023 de <https://www.obsbusiness.school/blog/que-es-la-inteligencia-artificial-generativa>

Greenstein Shane, Martin Mel, Agaian Sarkis (16 de Abril de 2021). IBM Watson and MD Anderson Cancer Center. Harvard Business School.

Grillo Sebastian Alberto (26 de julio de 2023). ¿Cómo funcionan los modelos de inteligencia artificial?. Ciencia el Sur. Recuperado el 22 de septiembre de 2023 de

<https://cienciasdelsur.com/2023/07/26/como-funcionan-modelos-de-inteligencia-artificial/>

Gruetzemacher Ross, Whittlestone Jess (17 de diciembre de 2021). The transformative potential of artificial intelligence. Elsevier. Volumen 135.

H M Sohaib Ali, Muhammad Jameel Arshad, Irshad Ahmed Sumra (Diciembre de 2019). "7, Vs of Big Data: A Survey". Engineering Science and Technology International Research Journal, Vol. 3, N°4.

Hagan Martin, Demuth Howard, Beale Mark, De Jesus Orlando (2014). Neural Network Design. 2nd Edition. Oklahoma State University.

Hastie Trevor, Tibshirani Robert, Fiedman Jerome (Agosto de 2008). The Elements of Statistical Learning. Data Mining, Inference, and Prediction. Second Edition. Springer.

Hernández Adrián (s.f.). Modelos discriminativos y generativos en deep learning. Mlearning Lab. Recuperado el 22 de septiembre de 2023 de <https://mlearninglab.com/2022/10/07/algoritmos-discriminativos-y-generativos-de-aprendizaje/>

Howar Rosen (7 de febrero de 2023). Top Five Opportunities and Challenges of AI in Healthcare. Forbes. Recuperado el 26 de Agosto de 2023 de <https://www.forbes.com/sites/forbesbusinesscouncil/2023/02/07/top-five-opportunities-and-challenges-of-ai-in-healthcare/?sh=5d03d97e2805>

HP (s.f.). Inteligencia Artificial. Recuperado el 23 de mayo de 2023 de <https://www.hpe.com/mx/es/what-is/artificial-intelligence.html#:~:text=La%20inteligencia%20artificial%20se%20clasifica,inteligencia%20artificial%20basada%20en%20capacidades.>

IBM (s.f.). ¿Qué es Deep Learning?. Recuperado el 5 de junio de 2023 de <https://www.ibm.com/es-es/topics/deep-learning#:~:text=Deep%20learning%20elimina%20parte%20del,la%20dependencia%20de%20expertos%20humanos.>

IBM (s.f.). ¿Qué es el aprendizaje supervisado?. Recuperado el 12 de junio de 2023 de <https://www.ibm.com/mx-es/topics/supervised-learning>

IBM (s.f.). ¿Qué es el aprendizaje no supervisado?. Recuperado el 15 de junio de 2023 de <https://www.ibm.com/es-es/topics/unsupervised-learning>

Instituto Nacional del Cancer (22 de abril de 2022). ¿Sirve la inteligencia artificial para ver el cancer de formas nuevas y más eficientes?. Recuperado el 8 de agosto de 2023 de <https://www.cancer.gov/espanol/noticias/temas-y-relatos-blog/2022/inteligencia-artificial-imagenes-cancer>

Intel (s.f.). Evolución de la medicina de precisión y de la genómica, del perímetro a la nube. Recuperado el 10 de octubre de 2022 de <https://www.intel.es/content/www/es/es/healthcare-it/precision-medicine.html>

Inteligencia artificial: definición, historia, usos, peligros (10 de Agosto de 2022). DataScientest. Recuperado el 07 de Octubre de 2022 de <https://datascientest.com/es/inteligencia-artificial-definicion>

Issam El Naqa, Ruijiang Li, Martin Murphy (2015). Machine Learning in Radiation Oncology. Theory and Applications. Springer.

Jasmine N. Kelley (2020). Impact of Artificial Intelligence, Machine Learning, and Automation in operations management: an analysis of healthcare, manufacturing, and retail sectors.

Javier Mora Pineda (Diciembre de 2022). Modelos predictivos en salud basados en aprendizaje de maquina (Machine Learning). Revista Médica Clínica Las Condes. Vol. 33. Núm. 6.

Johnson K. B., Wei W., Weeraratne D., et al. (14 de enero de 2021). Precision Medicine, AI, and the Future of Personalized Health Care. Clinical and translational science.

Jose Juan (28 de septiembre de 2022). ¿Cómo puede ayudar la inteligencia artificial en radiología?. Invox Medical. Recuperado el 26 de agosto de 2023 de <https://invoxmedical.com/blog/aw-na/inteligencia-artificial-en-radiologia/>

Jose Pablo Hernández (22 de Septiembre de 2022). Inteligencia Artificial: qué aporta y qué cambia en el mundo del trabajo. Factor Trabajo. Recuperado el 05 de Mayo de 2023 de <https://blogs.iadb.org/trabajo/es/inteligencia-artificial-que-aporta-y-que-cambia-en-el-mundo-del-trabajo/>

Juan Pablo Del Alcazar Ponce (s.f.). Inteligencia Artificial Generativa, Discriminativa y otros enfoques relevantes. Mentinno. Recuperado el 22 de septiembre de 2023 de <https://blog.formaciongerencial.com/inteligencia-artificial-generativa-discriminativa-y-otros-enfoques-relevantes/>

Julio Bonis, Juan J. Sancho y Ferran Sanz (Febrero 2004). Sistemas informáticos de soporte a la decisión clínica, Vol. 122, No. S1.

Karan Singhal, Shekoofeh Azizi, Tao Tu, et al. (12 de Julio de 2023). Large Language models encode clinical knowledge. Nature.

Kuepa (s.f.). La importancia de la inteligencia artificial en el ámbito laboral y como cultivarla. Recuperada el 31 de agosto de 2023 de <https://www.kuepa.com/blog/la-importancia-de-la-inteligencia-artificial-en-el-ambito-laboral-y-como-cultivarla>

Kun-Hsing Yu, Andrew L. Beam & Isaac S. Kohane (Octubre, 2018). Artificial Intelligence in healthcare. Nature Biomedical Engineering.

Lauzirika N. (7 de julio de 2022). No deberíamos tener miedo a la Inteligencia Artificial. El medico interactivo. Recuperado el 10 de octubre de 2022 de ["No deberíamos tener miedo a la inteligencia artificial" \(elmedicointeractivo.com\)](https://www.elmedicointeractivo.com)

Ledley Robert and Lusted Lee (3 de Julio de 1959). Reasoning Foundations of Medical Diagnosis. Science, Vol. 130, No. 3366.

Lyles Courtney, Lunn Mitchell, Obedin-Maliver Juno, Bibbins-Domingo Kirsten (27 de julio de 2018). The new era of precision population health: insights for the All of Us Research Program and beyond. Journal Translation Medicine.

M. Ali-ud-din Khan, Muhammad Fahim Uddin, Navarun Gupta (2014). “Seven Vs of Big Data. Understanding Big Data to extract Value”. Conference of the American Society for Engineering Education (ASEE Zone 1).

M. Jordan, T. Mitchell (2 de Julio de 2015). Machine learning: Trends, perspectives, and prospects. Science. Recuperado el 26 de Mayo de 2023 de <https://www.cs.cmu.edu/~tom/pubs/Science-ML-2015.pdf>

Makary Martin, Daniel Michael (3 de Mayo de 2016). Medical error – the third leading cause of death in the US. BMJ.

Manyika James, Bughin Jacques (15 de octubre de 2018). Las promesas y los desafíos de la era de la inteligencia artificial. McKinsey Global Institute. Recuperado el 31 de Agosto de 2023 de <https://www.mckinsey.com/featured-insights/artificial-intelligence/the-promise-and-challenge-of-the-age-of-artificial-intelligence/es-CL>

Marr Bernard and Von Scheel Henrik (Enero de 2015). Big Data: Using Smart Big Data, Analytics and Metrics to make better decisions and improve performance. Wiley.

Martínez Elebi Carolina (Agosto de 2021). Inteligencia artificial aplicada a la salud. Luces y sombras. Recuperado el 10 de octubre de 2022 de <https://nuso.org/articulo/inteligencia-artificial-aplicada-la-salud/>

Mayank Aggarwal y Mani Madhukar, (Enero de 2017). IBM’s Watson Analytics for Heath Care: A Miracle made true. Cloud Computing Systems and Applications in Healthcare. IGI Global.

Mayer-Schönberger, V. y Cukier, K. (2013). “Big Data. La revolución de los datos masivos”, Clivajes. Revista de Ciencias Sociales. Año V, número 9.

Medinaceli Diaz y Diaz Silva Choque (1 de Julio de 2021). “Impacto y regulación de la Inteligencia Artificial en el ámbito sanitario”. Revista IUS.

Monereo Moreno Isabel, Moreno Vida, María Nieves (14 de diciembre de 2022). La e-salud. Hacia la medicina 5P: medicina personalizada, precisa, preventiva, predictiva y participativa. Revista De Derecho De La Seguridad Social, Laborum, 415–443. Recuperado el 2 de septiembre de <https://revista.laborum.es/index.php/revsegsoc/article/view/642>

Moreno Antonio y Díaz Julia, (Octubre de 2019). “Inteligencia Artificial en salud desde la perspectiva del Instituto de Ingeniería del Conocimiento”, Revista de la Sociedad Española de Informática de la Salud, Nº 136, I+S. Recuperada el 10 de Octubre de 2022 de <https://seis.es/wp-content/plugins/pdfjs-viewer-shortcode/pdfjs/web/viewer.php?file=https://seis.es/wp-content/uploads/2019/10/Revista-136.pdf&%20download=true&print=true&openfile=false>

Nosis (2 de Junio de 2020). “Las 7V del Big Data”. Recuperado el 26 de Mayo de 2023 de <https://blog.nosis.com/las-7-v-big-data/>

Oracle (s.f.). ¿Qué es el aprendizaje automático?. Recuperado el 05 de Mayo de 2023 de <https://www.oracle.com/ar/artificial-intelligence/machine-learning/what-is-machine-learning/?source=:so:tw:or:awr:ocl::cloud>

Oracle (s.f.). ¿Qué es la IA? Conoce la inteligencia artificial. Recuperado el 31 de agosto de 2023 de <https://www.oracle.com/ar/artificial-intelligence/what-is-ai/>

Pilar Serrano (Febrero 2019). “La inteligencia artificial, crucial para 4 de cada 10 empresas en 2020”. Recuperado el 27 de Abril de 2023 de <https://www.nobbot.com/inteligencia-artificial-2020/>

Pineda Javier Mora (Diciembre de 2022). “Modelos predictivos en salud basados en aprendizaje de maquina (Machine Learning)”. Revista Médica Clinica Las Condes. Volumen 33, Issue 6.

Pombo Cristina, González Alarcón Natalia (7 de noviembre de 2022). La adopción de soluciones de inteligencia artificial sigue creciendo, pero ¿alguien la está evaluando?. BID. Recuperado el 6 de septiembre de 2023 de <https://blogs.iadb.org/salud/es/la-adopcion-de-soluciones-de-inteligencia-artificial-sigue-creciendo/>

Puentes Gabriela, Salinas Miranda Emmanuel, Triana Gustavo (22 de noviembre de 2021). Inteligencia Artificial y Radiología: La disrupción tecnológica en la transformación de un paradigma. Revista Medicina. Recuperado el 26 de agosto de 2023 de <https://revistamedicina.net/index.php/Medicina/article/view/1648/2138>

Rajnish Singh (18 de Agosto de 2015). "Understanding the 7 V's of Big Data". Optimus Information.

Ramírez Denniye Nihestroza (2018). "El Machine Learning a través de los tiempos, y los aportes a la humanidad". Universidad Libre Seccional Pereira. Facultad de Ingeniería.

Redacción APD (23 de febrero de 2021). Efectos de la inteligencia artificial en la medicina y sus aplicaciones mas novedosas. Recuperado de <https://www.apd.es/aplicaciones-inteligencia-artificial-en-medicina/#:~:text=En%20el%20campo%20de%20la,de%20salud%20de%20los%20pacientes.>

Redacción Medica (24 de agosto de 2022). El Machine Learning augura un futuro con diagnósticos más fiables. Recuperado el 10 de octubre de 2022 de <https://www.redaccionmedica.com/secciones/oncologia-medica/el-machine-learning-augura-un-futuro-con-diagnosticos-mas-fiables-8437>

Rincón Garzón Andrea del Pilar (2023). Interpretación de los profesionales de la salud sobre el uso de la inteligencia artificial (IA) como tecnología de impacto a la salud pública, análisis desde las ciencias cognitivas. Recuperado el 6 de septiembre de 2023 de <http://hdl.handle.net/20.500.12495/10909>.

Rob High (2012). The Era of Cognitive Systems: An inside look at IBM Watson and how it works. IBM Corp, New York.

Rodriguez Ruiz Alejandro, Lang Kristina, Gubern-Merida Albert, et al ... (Septiembre de 2019). Stand-alone artificial intelligence for breast cancer detection in mammography: Comparison with 101 radiologists. Journal of the National Cancer Institute.

Romero J., Dafonte C., Gomez A., Penousal F. (2007). Inteligencia Artificial y Computación Avanzada. Fundación Alfredo Brañas. Colección Informática. Número 13/2007.

Rouse Margaret (Abril de 2021). Inteligencia Artificial o IA. Computer Weekly. Recuperado el 07 de Octubre de 2022 de <https://www.computerweekly.com/es/definicion/Inteligencia-artificial-o-IA>.

Samper Esther (25 de octubre de 2021). La inteligencia artificial ya supera a los médicos en el diagnóstico de enfermedades. Hipertextual. Recuperado el 10 de octubre de 2022 de <https://hipertextual.com/2021/10/inteligencias-artificiales-supera-a-los-medicos>

Sancho Azcoitia Sergio, (15 de noviembre de 2018). MYCIN, El comienzo de la Inteligencia Artificial en el mundo de la medicina. Telefónica Tech. Recuperado el 08 de Octubre de 2022 de <https://empresas.blogthinkbig.com/mycin-el-comienzo-de-la-inteligencia/>

Sancho Azcoitia Sergio, (18 de octubre de 2018). Sistemas Expertos en Medicina. Telefónica Tech. Recuperado el 09 de Octubre de 2022 de <https://empresas.blogthinkbig.com/sistemas-expertos-en-medicina/>

Schmidhuber Jurgen (Enero de 2015). Deep Learning in Neural Networks: An Overview. Neural Networks, Volumen 62.

Sharan Narang, Aakanksha Chowdhery (4 de Abril de 2022). Pathways language model (PaLM): Scaling to 540 Billion Parameters for Breakthrough Performance.

Google Research. Recuperado el 28 de Julio de 2023 de <https://ai.googleblog.com/2022/04/pathways-language-model-palm-scaling-to.html>

Shimabukuro David, Barton Christopher, Feldman Mitchell, et al. (9 de Noviembre 2017). Effect of a machine learning based severe sepsis prediction algorithm on patient survival and hospital length of stay: a randomized clinical trial. *BMJ Open Respiratory Research*. Vol. 4, Issue 1.

Simon Parson, (2001). *Qualitative Methods for reasoning under uncertainty*. The MIT Press. Cambridge, Massachusetts. London, England.

Sutton Richard, Barto Andrew (2018). *Reinforcement Learning: An Introduction*. The MIT Press.

Torres Garzón Diana, Moreno Espinosa Jorge, Muñoz Rodríguez Erik, (Diciembre de 2020). Uso de la ciencia de datos y herramientas tecnológicas para el mejoramiento en la prestación del cuidado de la salud. Universidad Sergio Arboleda.

Unesco (23 de noviembre de 2021). Recomendaciones sobre la ética de la inteligencia artificial. Recuperado el 4 de julio de 2023 de https://unesdoc.unesco.org/ark:/48223/pf0000381137_spa

Van den Broeck, Zarouali, Poels (Septiembre 2019). Chatbot advertising effectiveness: When does the message get through?. *Computer in Human Behavior*.

Ventura-Fernandez Tania, Vidalón-Soldevilla Ethel, Ventura-Fernandez Freddy (30 de Noviembre de 2020). Predictibilidad en el diagnóstico utilizando Watson de IBM. *Vive. Revista de Investigación en Salud*.

Warren McCulloch, Walter Pitts (Diciembre de 1943). A logical calculus of the ideas immanent in nervous activity. *The bulletin of mathematical biophysics*.