



**UNIVERSIDAD POLITÉCNICA SALESIANA
SEDE GUAYAQUIL
CARRERA DE INGENIERÍA DE SISTEMAS**

**REVISIÓN SISTEMÁTICA LAS TECNOLOGÍAS APLICADAS PARA MITIGAR EL
COVID-19 CON INTELIGENCIA ARTIFICIAL DESDE UN ENFOQUE AL
APRENDIZAJE PROFUNDO**

Trabajo de titulación previo a la obtención del
Título de Ingeniero de Sistemas

AUTOR: GABRIELA MARITZA ZAMBRANO PEÑAFIEL

TUTOR: JOE LLERENA IZQUIERDO

Guayaquil – Ecuador

2023

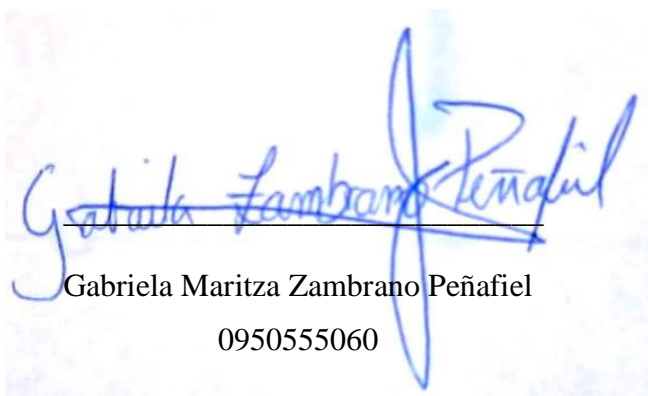
CERTIFICADO DE RESPONSABILIDAD Y AUTORÍA DEL TRABAJO DE TITULACIÓN

Yo, Gabriela Maritza Zambrano Peñafiel con documento de identificación N° 0950555060 manifiesto que:

Soy el autor y responsable del presente trabajo; y, autorizo a que sin fines de lucro la Universidad Politécnica Salesiana pueda usar, difundir, reproducir o publicar de manera total o parcial el presente trabajo de titulación.

Guayaquil, 16 de diciembre del año 2024

Atentamente,



Gabriela Maritza Zambrano Peñafiel
0950555060

**CERTIFICADO DE CESIÓN DE DERECHOS DE AUTOR DEL TRABAJO DE
TITULACIÓN A LA UNIVERSIDAD POLITÉCNICA SALESIANA**

Yo, Gabriela Maritza Zambrano Peñafiel con documento de identificación No. 0950555060, expreso mi voluntad y por medio del presente documento cedo a la Universidad Politécnica Salesiana la titularidad sobre los derechos patrimoniales en virtud de que soy autor(a) del Artículo Académico: “Tecnologías aplicadas para mitigar el Covid-19 con Inteligencia Artificial desde un enfoque al aprendizaje profundo”, el cual ha sido desarrollado para optar por el título de: Ingeniero de Sistemas, en la Universidad Politécnica Salesiana, quedando la Universidad facultada para ejercer plenamente los derechos cedidos anteriormente.

En concordancia con lo manifestado, suscribo este documento en el momento que hago la entrega del trabajo final en formato digital a la Biblioteca de la Universidad Politécnica Salesiana.

Guayaquil, 16 de diciembre del año 2024

Atentamente,



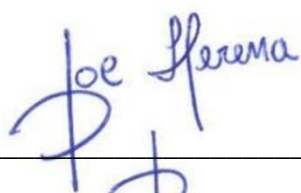
Gabriela Maritza Zambrano Peñafiel
0950555060

CERTIFICADO DE DIRECCIÓN DEL TRABAJO DE TITULACIÓN

Yo, Joe Frand Llerena Izquierdo con documento de identificación N° 0914884879, docente de la Universidad Politécnica Salesiana, declaro que bajo mi tutoría fue desarrollado el trabajo de titulación: TECNOLOGÍAS APLICADAS PARA MITIGAR EL COVID-19 CON INTELIGENCIA ARTIFICIAL DESDE UN ENFOQUE AL APRENDIZAJE PROFUNDO, realizado por Gabriela Maritza Zambrano Peñafiel con documento de identificación N° 0950555060, obteniendo como resultado final el trabajo de titulación bajo la opción Artículo Académico que cumple con todos los requisitos determinados por la Universidad Politécnica Salesiana.

Guayaquil, 16 de diciembre del año 2024

Atentamente,



Joe Frand Llerena Izquierdo

0914884879

DEDICATORIA

Dedico este trabajo a mis padres, quienes me inspiraron, apoyaron y motivaron para estudiar un carrera, a mi hermana que es uno de mis más grandes pilares, mi otra mitad. A mi sobrina mi gordita hermosa. A cada uno de mis primos que han sido como mis hermanos: Sugeidy, Pedro, Madeleine y Felipe, quienes han estado ahí para mí siempre. A mis tíos favoritos, mi Tío Felipe y mi tía Jacke, que han sido como mis segundos padres. Por último y no menos importante a Dios que es quien guía mi camino y el que decide que solo cuando estés listo se harán las cosas.

A cada una de estas personas y muchas más les dedico con amor este trabajo.

AGRADECIMIENTO

Agradezco a mi tutor el Máster Joe Llerena, sin usted y su enorme paciencia, apoyo y sobre todo sus consejos, fue quien me dio la pauta para empezar y dilucidar las ideas sobre este trabajo.

Muchas gracias por sus palabras de aliento y de motivación, por estar siempre atento. Muchas gracias por todo.

A mi compañeros y Amigos gracias por su apoyo, compañía, risas, salidas, por las horas de estudio compartidas. Hoy culmina este pequeño capítulo. Gracias por todo.

A mis padres, a quienes amo y les agradezco por todo.

RESUMEN

En diciembre de 2019 surgió una variante de coronavirus denominada SARS-CoV-2. Meses más tarde, ante la rapidez de su propagación, los índices de morbilidad y mortalidad, lo desconocida que resultaba y las dificultades para manejar la enfermedad, la Organización Mundial de la Salud la declaró una pandemia. Este panorama se caracterizó por la recopilación de abundantes datos, estructurados y no estructurados, que los sistemas de salud no tenían capacidad para aprovechar en beneficio del manejo de la pandemia. Ante tal escenario equipos multidisciplinarios hicieron uso de la Inteligencia Artificial, la Ciencia de Datos, los datos masivos y otras tecnologías disruptivas. El objetivo de este trabajo es determinar las principales tecnologías emergentes, basadas en Inteligencia Artificial, que se han aplicado exitosamente en la mitigación del Covid-19. El método empleado para el cumplimiento del objetivo fue la revisión sistemática de la literatura, siguiendo la metodología propuesta por Bárbara Kitchenham. Como principales resultados se encontró que los métodos de aprendizaje profundo fueron las técnicas de Inteligencia Artificial predominantes, especialmente los modelos basados en Redes Neuronales Generativas Adversarias (GAN), Máquinas de Aprendizaje Extremo (ELM) y Redes Neuronales Recurrentes tipo LSTM. La mayoría de los estudios analizados se dedicaron a la detección y diagnóstico, luego al tratamiento y en menor medida a la propagación y mitigación.

Palabras claves: Covid-19, Inteligencia Artificial, Aprendizaje Profundo

ABSTRACT

In December 2019, a coronavirus variant called SARS-CoV-2 emerged. Months later, given the rapidity of its spread, morbidity, and mortality rates, how unknown it was, and the difficulties in managing the disease, the World Health Organization declared it a pandemic. This scenario was characterized by the collection of large amounts of data, both structured and unstructured, which the health systems did not have the capacity to use for improving the management of the pandemic. Faced with such a scenario, multidisciplinary teams made use of Artificial Intelligence, Data Science, Big Data and other disruptive technologies. The objective of this work is to determine the main emerging technologies, based on Artificial Intelligence, that have been successfully applied in the mitigation of Covid-19. The method used to achieve this objective was the systematic review of the literature, following the methodology proposed by Barbara Kitchenham. As main results it was found that deep learning methods were the predominant Artificial Intelligence techniques, especially models based on Generative Adversarial Neural Networks (GAN), Extreme Learning Machines (ELM) and Recurrent Neural Networks type LSTM. Most of the studies analyzed were devoted to detection and diagnosis, then to treatment and to a lesser extent to propagation and mitigation.

Key words: Covid-19, Artificial Intelligence, Deep Learning

ÍNDICE DE CONTENIDO

1. INTRODUCCIÓN	10
2. METODOLOGÍA	12
3. RESULTADOS.....	14
Aprovechamiento de la Ciencia de Datos para combatir COVID-19.....	15
Aprendizaje automático	16
Aprendizaje Profundo	18
Modelos basados en redes neuronales profundas.....	18
Herramientas colectivas de apoyo.....	19
El uso de Big Data.....	19
Utilidad de imágenes durante la pandemia combinadas con técnicas de IA.....	20
4. DISCUSIÓN	23
Propagación de la enfermedad	25
5. CONCLUSIÓN.....	25
REFERENCIAS	27

1. INTRODUCCIÓN

En diciembre de 2019 en la ciudad de Wuhan, en la provincia de Hubei, se presentó una nueva cepa mutante de coronavirus: el SARS-CoV-2 o más conocida como COVID-19 (Ziamba & Eisenhardt, 2022). Allí, un grupo de 27 personas presentaron un cuadro de neumonía sin precedentes en su historial clínico, 7 de los pacientes se encontraban en grave estado de salud. Tiempo después la cepa se propagó tanto a otras partes de China como en diferentes países del mundo, por consiguiente, la Organización Mundial de la Salud (OMS) declara en marzo 2020 oficialmente una nueva pandemia a nivel mundial (Lai et al., 2020).

Existen dos tipos de pruebas estándar utilizadas para detectar el COVID-19: una prueba viral que determina la presencia actual de la infección en un paciente, y una prueba de anticuerpos que indica si el paciente ha sido previamente infectado. Estas pruebas utilizan diferentes técnicas, como la RT-PCR, el test rápido de flujo lateral y el ELISA. El procedimiento para la prueba de PCR es un proceso que consume tiempo, alrededor de 6 a 9 horas para confirmar la infección (Narayan Das et al., 2022), por otra parte las pruebas tienen una sensibilidad entre un 60 y 70% (Ai et al., 2020).

Aunque las técnicas son refinadas, su sensibilidad en cuanto a las muestras es relativa (Sanchez-Romero & Llerena-Izquierdo, 2023). Dentro de los problemas asociados a esto uno de los más importantes es la recolección de las pruebas que se realizan manualmente y de ahí su procesamiento. Se introduce incertidumbre en el proceso, de ahí la necesidad de vincular a este problema, soluciones que contemplen el uso de tecnologías como la Inteligencia Artificial, la Ciencia de Datos y otras, enfocadas en el análisis de data masiva y que presenten resultados resumidos en escalas estadísticas y probabilísticas para un fácil entendimiento.

El objetivo general de la investigación es Determinar las tecnologías emergentes basadas en inteligencia artificial con posibles usos en la mitigación del COVID-19 mediante una revisión integral de artículos científicos.

Mejorar la detección precoz de la COVID-19 implica buscar características distinguidas que ayuden a los científicos a identificar factores bioquímicos, de orden molecular y celular, que faciliten la detección temprana del virus en sus distintas etapas, desde la infección hasta el tratamiento.

REVISIÓN DE LITERATURA

Durante la etapa de conducción de la revisión, se dio respuesta a las preguntas elaboradas en la Tabla 2. Mediante las cadenas de búsquedas se identificaron los estudios primarios y se seleccionaron los estudios relevantes para la investigación. En la selección de estos estudios relevantes se tuvieron en cuenta los criterios definidos anteriormente. Se identificaron un grupo de investigaciones que aportaron al cumplimiento del objetivo del trabajo. Dentro de los estudios consultados se encuentran los siguientes artículos de revisión de diversas áreas de la inteligencia Artificial aplicadas a la medicina (ver Tabla 1).

Tabla 1 Artículos de revisión consultados

Descripcion	Referencia
Estudio que analiza como la Inteligencia Artificial ha sido empleada durante la pandemia del COVID-19, en áreas claves como el diagnostico, la predicción de la enfermedad, la gestión de los recursos y su prevención, Además de sugerir diferentes direcciones para futuras investigaciones	(Adadi et al., 2022)
Estudio que investiga como la inteligencia artificial y el internet de las cosas para contener la expansión del COVID-19, a partir de diferentes enfoques y estrategias implementadas para la detección temprana, dando seguimiento de contactos y gestión de los recursos	(Adly et al., 2020)
Articulo que revisa como las redes neuronales convolucionales han sido utilizadas para identificar casos de COVID-19 a partir de imágenes de radiográficas de tórax, proporcionando una revision bibliográfica que examina diversas metodologías y enfoques de investigaciones previas, analizando su efectividad en la detección temprana de la enfermedad	(Cornejo Montoya et al., 2022)
Artículo que examina el uso del aprendizaje profundo y de máquinas de imágenes médicas para la detección y diagnóstico del cáncer de mama, la revisión examina diversos métodos y técnicas para evaluar su eficacia en la identificación del cáncer de mama	(Houssein et al., 2021)
Estudio que se enfoca en desarrollar un modelo de predicción de la mortalidad para pacientes con COVID-19 utilizando aprendizaje profundo automático, que considera varias características clínicas y de laboratorio. Este método podría ayudar a identificar aquellos con mayor riesgo de complicaciones graves	(Ikemura et al., 2021)
Articulo provee una revisión temprana, sobre el uso de la Inteligencia Artificial para la detección del COVID-19, mediante imágenes de tórax. Se evalúa el estado actual de este campo, resaltando las técnicas y tecnologías para la detección temprana de la enfermedad	(Ilyas et al., 2020)

Estudio que te ofrece una revisión exhaustiva y un meta-análisis sobre el uso del aprendizaje profundo con datos clínicos para ayudar a mejorar los sistemas de diagnóstico y tratamiento del COVID-19	(W. T. Li et al., 2020)
Artículo que proporciona una revisión detallada sobre el estado actual y la clasificación de la analítica de big data de las diferentes técnicas y enfoques que te permite entender mejor la complejidad y su uso	(Mohamed et al., 2020)

Las investigaciones consultadas permitieron identificar los grandes campos de la Inteligencia Artificial en donde hubo una mayor utilización de las técnicas para dar respuesta a los problemas existentes durante la pandemia. A continuación, se muestran algunos elementos de contenido relacionados con los principales aportes en las búsquedas realizadas.

2. METODOLOGÍA

Para lograr el objetivo propuesto se utilizó la metodología desarrollada por Bárbara Kitchenham et al. (2007). Este método implica tres etapas para la revisión sistemática, aunque no son de obligatorio cumplimiento, brindan pautas para el trabajo:

- I. Revisión planificada
 - i. Definición concreta de las preguntas de investigación
 - ii. Desarrollo del proceso de revisión
 - iii. Validación protocolo de revisión
- II. Conducción de la revisión
 - iv. Selección de estudios de relevancia primaria
 - v. Evaluación de la calidad de los estudios seleccionados previamente
 - vi. Extracción de los datos requeridos
 - vii. Síntesis de los datos seleccionados
- III. Documentación de la revisión
 - viii. Redacción de la revisión informada
 - ix. Validación del informe redactado

Como parte de la fase de planificación, se desarrollaron preguntas de investigación para la conducción de la revisión. Las preguntas permiten identificar los métodos y técnicas para identificar el COVID-19 mediante técnicas de IA, así como enfermedades relacionadas con la misma (Tabla 2)

Tabla 2 Preguntas de investigación

Preguntas	Temática
Pregunta 1 (P1): ¿La información bibliográfica y documental como contribuye al proceso de investigación?	Verificar que la información encontrada sea relevante.
Pregunta 2 (P2) ¿Cuáles son las técnicas existentes de Inteligencia Artificial (IA) para el diagnóstico, detección, tratamiento y no propagación del virus?	Técnicas de Inteligencia Artificial aplicadas a la salud
Pregunta 3 (P3) ¿Cuáles son las técnicas existentes de Inteligencia Artificial (IA) para mitigar los efectos de la pandemia?	Técnicas de Inteligencia Artificial aplicadas a la salud
Pregunta 4 (P4) ¿Contribuyen al estudio científico, los datos recopilados, para con ello poder elaborar una matriz sistémica?	Examina los datos bibliográficos y con ello poder elaborar la información sistémica analizada.

Principales fuentes bibliográficas utilizadas

Se realizaron diversas búsquedas con la finalidad de responder las preguntas investigativas previamente definidas. Dentro de las principales fuentes bibliográficas consultadas se destacan IEEE Digital Library, ACM Digital Library, Scopus y Scielo.

Definición de palabras claves para realizar la búsqueda

La búsqueda eficiente se definió a través de un conjunto de palabras claves en español e inglés que sugieren cadenas de búsquedas.

- Artificial Intelligence
- Covid-19
- Detección
- Propagación
- Mitigación

- Aprendizaje automático
- Big data
- Datos abiertos

Cadenas de búsqueda

Las cadenas de búsquedas se construyeron a partir de las palabras claves definidas y las bibliotecas virtuales. Algunos ejemplos de cadenas utilizadas fueron las siguientes:

- TITLE ((“big data” OR “artificial intelligence” OR “intelligence systems) AND (“covid19” OR “covid-19”) AND (diagnos* OR identification OR disease))
- (((((((“Document Title” : Covid-19) AND “Abstract” :Artificial intelligence) AND “Abstract” :Diagnos) OR “Abstract” :Identification*)AND “Document Title” :Artificial intelligence AND Co- vid*) OR “Document Title” :Model) AND “Abstract” :Covid-19)

Criterios de inclusión y exclusión para las búsquedas

Para realizar las diversas búsquedas se definieron criterios bases para obtener los resultados deseados.

Criterios inclusivos

- Artículos o libros cuya publicación se dio a partir del año 2019.
- Artículos tanto en idioma español como en inglés.
- El artículo habla sobre la COVID-19 en su contenido en las diferentes etapas del virus.

Criterios de exclusión

- Artículos provenientes de fuentes no confiables
- Métodos, procedimientos, protocolos con ambigüedad en su explicación.

3. RESULTADOS

En este epígrafe se documenta la revisión realizada y se exponen los principales resultados sintetizados. Se identifican las técnicas de IA más utilizadas en la literatura para la mitigación de la pandemia.

Aprovechamiento de la Ciencia de Datos para combatir COVID-19

La Ciencia de Datos es una disciplina de gran valor en el sector público por disímiles razones dentro de las más importantes se destacan: emitir políticas públicas basadas en datos y evidencias, así como la necesaria evaluación empírica de políticas públicas que se despliegan (Oliver, 2022).

Se pueden encontrar diversos ejemplos donde se hace uso de la Ciencia de Datos para combatir la situación mundial generada por la COVID-19; se lanzaron concursos internacionales en búsquedas de soluciones y minimizar el impacto económico provocado por la pandemia. El desarrollo de múltiples modelos de IA en los resultados de los concursos se ve reflejado en la literatura (Lozano et al., 2021).

Uno de los ejemplos prácticos reconocido mundialmente fue el caso de Valencia, España, donde el uso de datos permitió la elaboración de políticas durante la pandemia de COVID-19 (Oliver, 2022). En este caso el uso de datos permitió trabajar y generar un multi-impacto en cuatro áreas diferentes que son la modelización del movimiento humano, el desarrollo de modelos epidemiológicos computacionales, desarrollo de modelos predictivos a nivel subregional, así como generación de espacios web para la contestación de encuestas en línea a una gran escala.

Los esfuerzos en estas áreas han dado lugar a logros como el control del impacto de las medidas tomadas para confinar a las personas, la identificación de áreas donde las medidas de confinamiento fueron efectivas, y la modelización del efecto que la reducción de la movilidad tuvo en la propagación del virus, entre otros resultados.

La aplicación de las encuestas relacionadas con el tema permitió recoger datos sin precedentes de manera sistemática, con los cuales se ha podido analizar aspectos fundamentales como el impacto psicológico que ejerce el contar con familiares, amigos o algún conocido cercano, además de permitir estudiar cómo las condiciones sociodemográficas o socioeconómicas afectan a la capacidad de cumplir con los cierres.

Ejemplos de modelos basados en Inteligencia Artificial exitosos

El Modelo metapoblacional predictivo basado en el SEIR se sustentó en un modelo clásico en el que cada letra del acrónimo representa un estado diferente en el que pueden encontrarse los miembros de una población con parámetros bien definidos como tasas de transferencia de individuos que permite determinar cuántos individuos componen cada clase en cualquier instante. Con el fin de tomar un modelo inicial e introducir cierta incertidumbre, se realiza una

extensión estocástica del mismo que permite estimar el número que subyace al conteo de contagios totales y así realizar la comparación con la cantidad de casos notificados. Los resultados arrojaron un alto número de casos subyacentes no notificados porque eran asintomáticos existiendo una brecha entre el comportamiento real y el reportado (Yang et al., 2020).

El modelo REINA (Tuomisto et al., 2020) se destaca dentro de los modelos individuales basado en agentes y el impacto del rastreo de contactos. Su concepción es un modelo epidemiológico individual basado en agentes que simula la dinámica poblacional mediante las interacciones sociales entre individuos. Una característica única de este tipo de modelo es que los agentes no son entidades homogéneas, sino que se caracterizan por ciertos rasgos que representan el comportamiento multi-poblacional.

En general los modelos basados en agentes requieren abundante información tal como: demográfica, sociológica y conductual para desarrollar interacciones realistas. Su costo puede ir en aumento desde el punto de vista computacional en dependencia del número de simulaciones a ejecutar, pero sus resultados aumentan las probabilidades en el rastreo de contactos, reduciéndose así el número de casos.

Aprendizaje automático y su uso para la detección del virus

Es una rama de la inteligencia artificial que utiliza algoritmos para reconocer patrones, hacer predicciones, aprender de los datos y tomar decisiones. En el caso de esta enfermedad fue utilizado para múltiples tareas, como para el diagnóstico e identificación de población que está en mayor riesgo de contagio (Cornejo Montoya et al., 2022).

Para realizar estudios basados en aprendizaje automático se puede hacer uso de algoritmos de regresión, predicción y de análisis estadístico, así como árboles de decisión, redes neuronales, bayesianas y clustering basado en instancias. Estos algoritmos se valen de la Ciencia de Datos en la que se ejecutan diversos cálculos matemáticos, donde la densidad de información es amplia, compleja y variada (Ciliberto & Cardone, 2020; Díaz, 2020).

Por otra parte, la predicción de riesgos de infección basados en las características personales de los individuos fue una técnica utilizada para la identificación del virus. Con información de entrada de las características personales de los individuos se pueden establecer modelos para la predicción de riesgos de contacto, factores asociados a complicaciones, resultados de tratamientos, así como la predicción de la supervivencia de un paciente (Alvarado-Salazar & Llerena-Izquierdo, 2022; Díaz, 2020)

Dentro de las aplicaciones más utilizadas basadas en el aprendizaje automático están los escáneres faciales para la identificación de síntomas como la fiebre y detección de anomalías cardíacas o respiratorias.

Un ejemplo más de las aplicaciones que se pueden hacer a partir del aprendizaje automático son los chatbots que son capaces de evaluar a los pacientes cuando estos mencionan sus síntomas. Basándose en las respuestas proporcionadas, el sistema les indica si deben quedarse en casa, llamar al médico, ir al hospital, u otras acciones pertinentes.

En un estudio desarrollado por Li et al. (2020) para predecir el uso de técnicas de aprendizaje automático sobre un grupo de muestras y el análisis de los mensajes, se aconseja conocer las condiciones psicológicas tras el brote del virus y se les proporciona apoyo y tratamiento adecuados para la etapa pos covid. La atención psicológica de las personas no solamente de pacientes, sino de directivos y personal sanitario que toman decisiones fue clave durante la pandemia y pos-pandemia.

El uso del aprendizaje automático jugó un papel esencial durante la etapa de predicción del virus, partiendo del principio de la medicina de prevenir la enfermedad (Alvarado Salazar, 2022). En la Tabla 3 se muestran investigaciones relevantes detectadas en la revisión de la literatura publicadas entre los años 2020 y 2021 donde a partir del aprendizaje automático se realiza la predicción del virus con resultados validados. Se presenta además el número de muestras analizadas en cada investigación (ver Fig. 1).

Tabla 3 Investigaciones relevantes del 2020 al 2021 Aprendizaje Automático

Autores	Número de muestras
Meng et al. (2020)	620
Ai et al. (2020)	189
Gong et al. (2020)	220
Yan et al. (2020)	485
Yadaw et al. (2020)	3841
Berenguer et al. (2021)	4035
Ikemura et al. (2021)	4313
Statsenko et al. (2021)	560

Aprendizaje Profundo y su aplicación en la pandemia del Covid-19

El aprendizaje profundo se deriva del aprendizaje automático, y su objeto es la clasificación de datos utilizando algoritmos de correlación. Se basa en ciertas arquitecturas de redes neuronales, que le permiten jerarquizar la información (visual, auditiva y escrita) mediante una segmentación de patrones categorizados por niveles (Alshazly et al., 2021). Durante la pandemia fue un enfoque ampliamente utilizado, con destaque para los modelos basados en Redes Neuronales Generativas Adversarias (GAN), Máquinas de Aprendizaje Extremo (ELM) y Redes Neuronales Recurrentes tipo LSTM. Su principal objetivo fue acelerar el proceso de diagnóstico y tratamiento de la enfermedad (Jamshidi et al., 2020). Entre los enfoques más utilizados del aprendizaje profundo se encuentra el aprendizaje por transferencia, el cual fue esencial para el diagnóstico de la Covid-19 cuando no se disponía de suficientes datos para entrenar las redes (Adadi et al., 2022; Kavitha et al., 2021).

Dentro de las técnicas utilizadas una de las más eficaces fue el reconocimiento de imágenes para pruebas de radiodiagnóstico que infieren si los pulmones de un paciente están o no enfermos por neumonía asociada específicamente con la COVID-19 (Cornejo Montoya et al., 2022; Öner, 2020).

Modelos basados en redes neuronales profundas

Los modelos basados en redes neuronales profundas fueron utilizados fundamentalmente para predecir las variaciones de los números de casos en los países (Lozano et al., 2021; Mohamed et al., 2020). En medio de la pandemia se realizaron convocatorias mundiales de concursos en búsqueda de soluciones basadas en este tipo de modelos. Un resultado de este tipo de iniciativa fue XPRIZE Pandemic Response Challenge, utilizado para realizar predicciones diarias de los casos de COVID 19, resultando uno de los más exactos.

Otra área donde se aplicaron modelos a partir de redes neuronales profundas fue en la predicción, con una semana de anticipación, del porcentaje de ocupación de camas en unidades de cuidados intensivos en departamentos específicos de hospitales y otras casas de salud. Este tipo de redes integran bucles de retroalimentación y son apropiadas para modelar series temporales. En este caso se utiliza como información de entrada el número de casos de COVID-19 y de hospitalizaciones por coronavirus en cada departamento de salud (Arias-Londono et al., 2020).

Herramientas colectivas de apoyo

Una herramienta colectiva de apoyo fue el sistema Covid-Net, cuyo objetivo es la detección de la infección viral por COVID-19 mediante el examen de radiografías o tomografías de tórax (Wang et al., 2020). Esta herramienta es capaz de detectar de manera altamente confiable anomalías radiográficas en imágenes, como la neumonía viral y otros trastornos respiratorios que pueden o no estar relacionados con el virus.

Otra de las plataformas desarrolladas a partir de la inteligencia colectiva es Helpwithcovid, que incluye recursos como la Covid Healthcare Coalition, que proporciona acceso a información crucial para miles de investigadores que trabajan con tecnologías como el aprendizaje profundo y automático.

El uso de Big Data

El Big Data se entiende como el conjunto de procedimientos computacionales aplicados para analizar gran cantidad de datos con el fin de extraer información que presente ciertos patrones, relaciones y asociaciones relevantes para una (Díaz, 2020; Wang et al., 2020). En el área de la salud, esta poderosa herramienta de análisis es de gran utilidad, ya que simplifica el estudio del estado de salud de las personas en términos de prevención, utilizando sensores y cámaras térmicas. Además, facilita la detección temprana de focos infecciosos que se pueden presentar, mediante biosensores y nanosensores colocados estratégicamente en la ciudad. Los tres adjetivos que distinguen el Big Data, que son: volumen, variedad y velocidad se refieren a: 1) las grandes masas de datos que se deben procesar, 2) su gran diversidad de fuentes y formatos y 3) que se generan con mucha frecuencia (a veces constantemente). En este caso la información fiable es un elemento muy importante porque de ella se deriva la calidad de las salidas de los modelos para la toma de decisiones.

Durante la pandemia de la COVID-19, se generó un número grande de datos, su adecuado tratamiento permitió diferenciar familias, aplicar tratamientos, identificar riesgos, disminuir costos en el diagnóstico, así como aplicar tratamientos en los pacientes. Adicionalmente el empleo de Big Data se vale de la analítica retrospectiva y descriptiva avanzadas (Mohamed et al., 2020), lo cual permite focalizar el estudio mediante indicadores y tendencias en el tiempo, lo que facilita predicciones a futuro.

Se desarrollaron diversas herramientas basadas en Big data tales como Hadoop, Storm, Spark, Flink, Kafka y Pig las cuales permitieron el rápido procesamiento de grandes volúmenes de datos (Mohamed et al., 2020).

Al analizarse bases de datos con o sin estructura, se focalizan correlaciones recurrentes por al cruzar la información, llegando a soluciones, visualizando un evento como la propagación del virus. Ejemplos prácticos de estos análisis es la difusión del virus en una determinada zona bajo parámetros climatológicos, factores de densidad demográfica, patrones de movilidad, características fenotípicas del virus con respecto a sus otras familias y medioambiente, detección de anomalías a nivel celular y/o molecular, entre muchos otros aspectos (González-Rivero et al., 2020; Mijwil et al., 2022).

En un estudio realizado por Yang et al. (Yang et al., 2020) empleó datos de migración de ciudadanos para poblar el modelo de infección combinado con algoritmos de IA para predecir las curvas de pronóstico del virus. Esta investigación fue de gran utilidad en China para la aplicación de medidas de salud.

Otra investigación publicada por Qin et al. (2020) confirma que los índices de búsqueda en las redes sociales son un indicador esencial y práctico para predecir el número de infecciones por el virus.

La aplicación de algoritmos no solo impacta en la detección, diagnóstico y tratamiento, sino que también una vez terminada la pandemia con el aprendizaje se ha gestado el desarrollo de algoritmos predictivos que pueden identificar grupos de personas cuyo estado podría agravarse, basándose en factores como la edad, el género, el historial médico, el índice de masa corporal.

Utilidad de imágenes durante la pandemia combinadas con técnicas de IA

La identificación temprana de la enfermedad fue uno de los elementos esenciales para combatirla y evitar su propagación. El uso de toma de imágenes médicas de los pulmones representa una información relevante para los especialistas, método tradicional usado para la detección de enfermedades asociadas a problemas respiratorios. La combinación de herramientas tradicionales con técnicas de IA se convirtió en un mecanismo eficiente para la clasificación automática de enfermedades.

La utilización de Rayos X, tipo de radiación denominada ondas electromagnéticas, permite la generación de una fotografía bidimensional del interior del cuerpo humano. La revisión bibliográfica confirma que fue la técnica más utilizada a nivel internacional durante la COVID 19 dentro del grupo de imágenes radiográficas (Abumalloh et al., 2022). Seguida en su utilización por la tomografía computarizada (TC); esta utiliza rayos X para generar imágenes específicas de los órganos internos, a diferencia de la anterior, genera imágenes de la estructura interna del cuerpo, incluidos los órganos, los vasos sanguíneos y los huesos.

Por último, las imágenes por ultrasonidos son un tipo de imagen ecográfica que puede generarse mediante dispositivos ultrasónicos. Generan imágenes de alta calidad en tiempo real pero su costo es superior a las anteriores (Abumalloh et al., 2022).

Para la detección temprana de la enfermedad y manejo oportuno de pacientes positivos al virus el análisis de imágenes médicas sea tomografía computarizada o bien radiografía de tórax, es una técnica efectiva para la toma de decisiones. Los estudios confirman anomalías visibles en las imágenes, no obstante, el 50% de los pacientes tienen una TC normal dentro de los primeros dos días luego de que aparecen los síntomas de la COVID-19 (Kanne et al., 2020).

A pesar de las múltiples ventajas de estos métodos es importante tener identificadas sus desventajas, entre las que se identifican: en todos los centros asistenciales no hay disponibilidad del equipo, las dosis de radiación ionizante suministrada al paciente en estos equipos son relativamente alta y la exposición del personal médico al realizar el examen también es alta (Fan et al., 2020).

El uso de técnicas de IA pudiera mitigar algunos de los efectos negativos antes mencionados en la detección temprana a partir de la clasificación automática (Oh et al., 2020). Dado que las personas con la enfermedad pueden experimentar inflamación pulmonar cuando el virus ataca los pulmones, el uso de la IA ha contribuido significativamente para el procesamiento de imágenes aplicándose modelos de segmentación y clasificación (Houssein et al., 2021). Ejemplos de este tipo de aplicaciones existen varios (Houssein et al., 2021), aunque a nivel internacional es limitado el número de imágenes CXR positivas a COVID-19 de forma libre en Internet para el uso de la comunidad científica. La mayor parte de los estudios completan los data set con imágenes negativas a partir de datos de otras fuentes. Las imágenes poseen marcadas diferencias entre los distintos conjuntos, esto propicia buenos resultados en la clasificación automática, al evaluar usando un subconjunto de imágenes del conjunto (López-Cabrera et al., 2020). Aunque existe poca generalización de estos resultados, la falta de un protocolo de evaluación apropiado hace que la mayoría de los modelos desarrollados hasta ahora no tengan el suficiente valor en entornos clínicos reales.

Los datos de entrada son esenciales para lograr un alto rendimiento en los resultados. Para hacer frente al problema de escasez de datos confiables, los investigadores han adoptado técnicas de aumento de datos lo que ha mostrado grandes posibilidades en varias disciplinas (Morís et al., 2021).

Las técnicas de redes neuronales convolucionales están dentro de las más utilizadas combinadas con los métodos tradicionales de imágenes de rayos X (Kutlu & Camgözlü, 2021).

En el estudio realizado en la presente investigación se identifica el uso de imágenes combinadas con técnicas de IA como el enfoque más utilizado para la detección y diagnóstico de la enfermedad, así como para su seguimiento. Estos fueron los métodos que más precisión arrojaron en las investigaciones realizadas. En la Tabla 4 se relacionan las 15 investigaciones más relevantes, en la mayoría de las cuales se emplean algoritmos de aprendizaje profundo (ver Fig. 2).

Tabla 4 Relación de trabajos asociados con imágenes e IA

Título	Referencia	Área de la IA que se combina
Artículo que proporciona una descripción completa del procesamiento de imágenes médicas relacionadas con el COVID-19, destacando las técnicas utilizadas para diagnosticar y analizar la enfermedad e identifica tendencias y patrones de investigación en este ámbito	(Abumalloh et al., 2022)	Aprendizaje Profundo
Estudio que está desarrollando un modelo de aprendizaje profundo llamado CCBLOCK para el diagnóstico temprano de la enfermedad de COVID-19 a partir de imágenes de rayos X.	(Al-Bawi et al., 2022)	Aprendizaje Profundo
Estudio que presenta un método basado en el aprendizaje profundo para automatizar la detección del COVID-19 a partir de imágenes de tomografía computarizada (TC) del Tórax.	(Alshazly et al., 2021)	Aprendizaje Profundo
Artículo que examina cómo la inteligencia artificial es usada para detectar automáticamente el COVID-19 mediante imágenes de radiografías de tórax	(Arias-Londono et al., 2020)	Aprendizaje Profundo
Artículo que explora el uso de las tomografías computarizadas (TC) para el desarrollo de modelos de aprendizaje automático que utilizan estas mediciones para prevenir el avance de la enfermedad para mejorar la gestión y el tratamiento de los pacientes con COVID-19.	(Cai et al., 2020)	Machine-learning
Estudio que propone un método para detectar COVID-19 utilizando una técnica mejorada de optimización basada en la razón dorada y características residuales extraídas de redes neuronales convolucionales para mejorar la precisión del diagnóstico a partir de imágenes médicas.	(Chattopadhyay et al., 2021)	Aprendizaje Profundo
Artículo que analiza diferencias en algoritmos de inteligencia artificial diseñados para detectar el daño pulmonar causado por el COVID-19 mediante radiografías portátiles. Se evaluaron diversos algoritmos para así poder identificar signos claves de la enfermedad mediante estas imágenes.	(Cobeñas et al., 2023)	Internet de las cosas
Estudio que presenta una nueva técnica de fusión de imágenes utilizando aprendizaje para el conjunto de datos desequilibrados. El objetivo de esta técnica combinando información de dos capas perceptuales utilizando redes neuronales, para	(Elzeiki et al., 2021)	Aprendizaje Profundo

mejorar significativamente la precisión en la detección del COVID-19.		
Artículo propone un sistema automatizado mediante redes neuronales para detectar y delimitar áreas de infección pulmonar mediante imágenes de tomografía computarizada (TC) provocadas por el COVID-19	(Fan et al., 2020)	Aprendizaje Profundo
Artículo que resume como la visión por computadora está contribuyendo de manera significativa durante la pandemia de COVID-19. Se han examinado varias aplicaciones para detectar la enfermedad mediante imágenes médicas	(Gazzah & Bencharef, 2020)	Aprendizaje Profundo
Artículo que describe un ciclo acelerado para el desarrollo de Inteligencia Artificial (IA) destinada para detectar automáticamente y monitorear pacientes con COVID-19 a través del análisis de imágenes de tomografía computarizada (TC) utilizando técnicas de aprendizaje profundo.	(Gozes et al., 2020)	Aprendizaje Profundo
Artículo que ofrece como la inteligencia artificial es usada mediante imágenes de radiografías de Tórax y examinando métodos emergentes para identificar casos positivos de COVID-19	(Ilyas et al., 2020)	Aprendizaje Profundo
Artículo que propone una actualización vital sobre COVID-19 dirigidos para radiólogos, se abordan aspectos importantes de la enfermedad como hallazgos relevantes y medidas de protección para el personal médico	(Kanne et al., 2020)	Aprendizaje Profundo
Estudio que está enfocado en utilizar las redes neuronales convolucionales profundas muestra la efectividad de este método para detectar la enfermedad COVID-19 a partir de imágenes de rayos X	(Kutlu & Camgözlüü, 2021)	Redes neuronales convolucionales profundas
Artículo que propone un método de aprendizaje de contraste multitarea para diagnosticar COVID-19 automáticamente mediante imágenes de TC y radiografías de tórax este enfoque es eficaz en ambas modalidades para diagnosticar la enfermedad	(J. Li et al., 2021)	Aprendizaje contrastivo multitarea

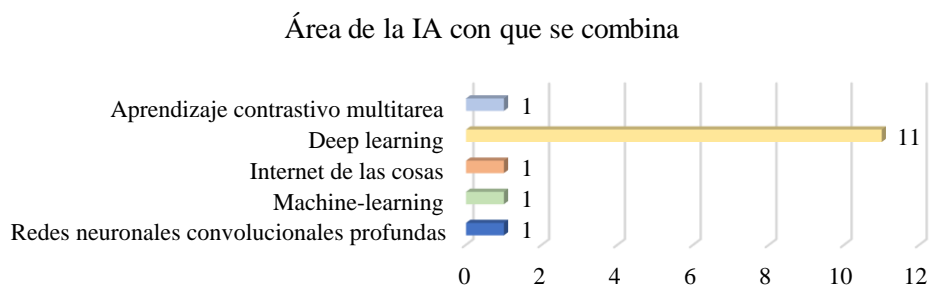


Figura 1 Uso de imágenes combinadas con técnicas de IA

4. DISCUSIÓN

Para la identificación de las técnicas de inteligencia artificial más utilizadas en cada una de las etapas de la enfermedad se realizó un estudio a un total de 100 investigaciones, de ellas se

identificaron con mayor pertinencia 54. De cada una de las revisiones se identificó con qué fase de la pandemia estaba relacionada y cuáles eran las técnicas de inteligencia artificial más utilizadas; los resultados se muestran en la Tabla 5.

Tabla 5 Relación de investigaciones por etapa de la enfermedad y técnica de IA relacionada

Etapa	Área de la IA relacionada	Referencia
Detección y diagnóstico	Deep learning, Big data, Redes neuronales, sistemas expertos	(Kamil, 2021)(Ilyas et al., 2020)(Lozano et al., 2021)(Díaz, 2020)(Öner, 2020)(Tuomisto et al., 2020)(López-Cabrera et al., 2020)(Narayan Das et al., 2022)(Nour et al., 2020)(Narayan Das et al., 2022)(Oh et al., 2020)(Houssein et al., 2021)(Morís et al., 2021)(Qin et al., 2020)(Meng et al., 2020)(Gong et al., 2020)(Yan et al., 2020) (Yadaw et al., 2020)(Berenguer et al., 2021)(Ikemura et al., 2021)(Statsenko et al., 2021)(Ai et al., 2020)(Al-Bawi et al., 2022)(Alshazly et al., 2021)(Arias-Londono et al., 2020)(Chattopadhyay et al., 2021)(Cobeñas et al., 2023)(Dass et al., 2020)(de Freitas Barbosa et al., 2022)(Elzeki et al., 2021)(Galván et al., 2022)(Gazzah & Bencharef, 2020)(Gisby et al., 2020)(Gozes et al., 2020)(Jamshidi et al., 2020)(Kavitha et al., 2021)
Tratamiento	Big data, Machine-learning	(Kanne et al., 2020)(Wang et al., 2020)(Díaz, 2020)(Houssein et al., 2021)(Wang et al., 2020)(S. Li et al., 2020)(Cai et al., 2020)(Ciliberto & Cardone, 2020)(Gong et al., 2020)(Gozes et al., 2020)(Jamshidi et al., 2020)
Propagación y mitigación	Big data, analítica de datos, machine learning	(Díaz, 2020)(Oliver, 2022)(Mijwil et al., 2022)(S. Li et al., 2020)(Berenguer et al., 2021)(Caneri, 2022)(Ikemura et al., 2021)

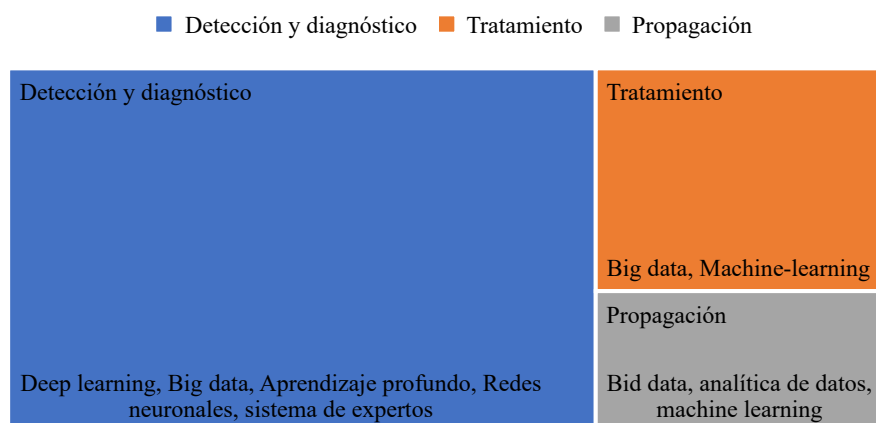


Figura 2 Relación de etapas de la pandemia con áreas de IA aplicadas

Como se evidencia en la Fig. 3, donde mayor cantidad de aportes hubo fue en la detección y diagnóstico de la enfermedad, existiendo un gran número de contribuciones de la IA a situación de salud existente. Existió un menor número de aportes para evitar la propagación y mitigación de la enfermedad, aunque existe una relación estrecha entre los conceptos porque si se detecta

a tiempo la enfermedad los efectos negativos son menores, así como las consecuencias e impacto.

Propagación de la enfermedad

Durante el periodo más intenso de la pandemia la rápida propagación de la enfermedad se convirtió en uno de los mayores problemas sin resolver. El aumento exponencial de pacientes diarios y el escaso personal sanitario para tratar los casos fueron situaciones reales. Los diez enfoques de la IA más utilizados en la búsqueda de soluciones para la propagación de la enfermedad fueron (Adly et al., 2020):

1. Detección de casos sospechosos (Ai et al., 2020)
2. Cribado a gran escala
3. Monitorización (Al-Bawi et al., 2022)
4. Interacciones con terapias experimentales
5. Cribado de la neumonía
6. Uso del IoT para la recopilación e integración de datos e información
7. Asignación de recursos (Caneri, 2022)
8. Predicciones
9. Modelado y la simulación
10. Robótica para la cuarentena médica

En muchos casos estos enfoques no tuvieron amplia aplicación por la escasez de datos existentes y por el encarecimiento de su aplicación en tiempo real.

Se debe reducir la dependencia de los modelos de IA de la cantidad de datos disponibles sin afectar su rendimiento, por lo que se sugiere utilizar algoritmos no supervisados, semi supervisados o auto supervisados. Una alternativa a la escasez de datos sería la creación artificial de los mismos que se conoce como aumento de datos (Adadi et al., 2022).

5. CONCLUSIÓN

La comunidad científica que estudia la Inteligencia Artificial tuvo una movilización sin precedentes durante la pandemia en busca de soluciones para la rápida identificación del virus, tratamientos y no propagación de esta. Se realizó un número de propuestas significativas para la solución de problemas inmediatos apoyadas de artículos de revisión de la rama de asistencia sanitaria, epidemiología y salud pública. Las aplicaciones de Inteligencia Artificial desarrolladas reflejan el aporte al área de salud fundamentalmente en la detección temprana de la enfermedad y diagnóstico de esta.

Respecto al empleo de algoritmos en las diversas soluciones se destacan el uso del aprendizaje profundo por su potencial y robustez.

Los modelos de Inteligencia Artificial deben ser eficientes incluso en entornos de datos reducidos. Sin embargo, a partir de la revisión realizada estos modelos serán más precisos en la medida de que la disponibilidad de datos sea mayor para entrenarlos.

REFERENCIAS

- Abumalloh, R. A., Nilashi, M., Yousoof Ismail, M., Alhargan, A., Alghamdi, A., Alzahrani, A. O., Saraireh, L., Osman, R., & Asadi, S. (2022). Medical image processing and COVID-19: A literature review and bibliometric analysis. *Journal of Infection and Public Health*, *15*(1), 75–93. <https://doi.org/10.1016/J.JIPH.2021.11.013>
- Adadi, A., Lahmer, M., & Nasiri, S. (2022). Artificial Intelligence and COVID-19: A Systematic umbrella review and roads ahead. *Journal of King Saud University - Computer and Information Sciences*, *34*(8), 5898–5920. <https://doi.org/10.1016/J.JKSUCI.2021.07.010>
- Adly, A. S., Adly, A. S., & Adly, M. S. (2020). Approaches Based on Artificial Intelligence and the Internet of Intelligent Things to Prevent the Spread of COVID-19: Scoping Review. *J Med Internet Res* 2020;22(8):E19104 <https://www.jmir.org/2020/8/E19104>, 22(8), e19104. <https://doi.org/10.2196/19104>
- Ai, T., Yang, Z., Hou, H., Zhan, C., Chen, C., Lv, W., Tao, Q., Sun, Z., & Xia, L. (2020). Correlation of Chest CT and RT-PCR Testing for Coronavirus Disease 2019 (COVID-19) in China: A Report of 1014 Cases. *Radiology*, *296*(2), E32–E40. <https://doi.org/10.1148/RADIOL.2020200642/ASSET/IMAGES/LARGE/RADIOL.2020200642.FIG7.JPEG>
- Al-Bawi, A., Al-Kaabi, K., Jeryo, M., & Al-Fatlawi, A. (2022). CCBLOCK: an effective use of deep learning for automatic diagnosis of COVID-19 using X-ray images. *Research on Biomedical Engineering*, *38*(1), 49–58. <https://doi.org/10.1007/S42600-020-00110-7/TABLES/6>
- Alshazly, H., Linse, C., Barth, E., & Martinetz, T. (2021). Explainable COVID-19 Detection Using Chest CT Scans and Deep Learning. *Sensors* 2021, Vol. 21, Page 455, 21(2), 455. <https://doi.org/10.3390/S21020455>
- Alvarado-Salazar, R., & Llerena-Izquierdo, J. (2022). Revisión de la literatura sobre el uso de Inteligencia Artificial enfocada a la atención de la discapacidad visual. *Revista InGenio*, *5*(1), 10–21. <https://doi.org/https://doi.org/10.18779/ingenio.v5i1.472>
- Alvarado Salazar, R. E. (2022). *Inteligencia artificial con enfoque a la discapacidad visual: un mapeo sistemático*. <http://dspace.ups.edu.ec/handle/123456789/23327>
- Arias-Londono, J. D., Gomez-Garcia, J. A., Moro-Velazquez, L., & Godino-Llorente, J. I. (2020). Artificial Intelligence applied to chest X-Ray images for the automatic detection of COVID-19. A thoughtful evaluation approach. *IEEE Access*. <https://doi.org/10.1109/ACCESS.2020.3044858>
- Berenguer, J., Borobia, A. M., Ryan, P., Rodríguez-Baño, J., Bellón, J. M., Jarrín, I., Carratalà, J., Pachón, J., Carcas, A. J., Yllescas, M., & Arribas, J. R. (2021). Development and validation of a prediction model for 30-day mortality in hospitalised patients with COVID-19: the COVID-19 SEIMC score. *Thorax*, *76*(9), 920–929. <https://doi.org/10.1136/THORAXJNL-2020-216001>
- Cai, W., Liu, T., Xue, X., Luo, G., Wang, X., Shen, Y., Fang, Q., Sheng, J., Chen, F., & Liang, T. (2020). CT Quantification and Machine-learning Models for Assessment of Disease Severity and Prognosis of COVID-19 Patients. *Academic Radiology*, *27*(12), 1665–1678. <https://doi.org/10.1016/J.ACRA.2020.09.004>
- Caneri, T. (2022). *La Big Data y la Analítica de Datos, herramientas fundamentales, para agregar valor a la toma de decisiones y así mitigar los efectos producidos por la pandemia COVID-19 en los Municipios del Interior de la Provincia de Córdoba, Argentina*.
- Chattopadhyay, S., Dey, A., Singh, P. K., Geem, Z. W., & Sarkar, R. (2021). COVID-19 Detection by Optimizing Deep Residual Features with Improved Clustering-Based Golden Ratio Optimizer. *Diagnostics* 2021, Vol. 11, Page 315, 11(2), 315. <https://doi.org/10.3390/DIAGNOSTICS11020315>
- Ciliberto, G., & Cardone, L. (2020). Boosting the arsenal against COVID-19 through computational drug repurposing. *Drug Discovery Today*, *25*(6), 946. <https://doi.org/10.1016/J.DRUDIS.2020.04.005>
- Cobeñas, R. L., de Vedia, M., Florez, J., Jaramillo, D., Ferrari, L., & Re, R. (2023). Rendimiento diagnóstico de algoritmos de inteligencia artificial para detección de compromiso pulmonar por COVID-19 basados en radiografía portátil. *Medicina Clínica*, *160*(2), 78–81. <https://doi.org/10.1016/J.MEDCLI.2022.04.016>

- Cornejo Montoya, Y. A., Alejandra, S., & Cornejo, G. (2022). Detección de COVID-19 a partir de imágenes radiográficas utilizando redes neuronales convolucionales: una revisión bibliográfica. *INGENIERÍA INVESTIGA*, 4, 2022. <https://doi.org/10.47796/ING.V4I0.626>
- Dass, S. D. S., Meskaran, F., & Saeedi, M. (2020). Expert system for early diagnosis of covid-19. *International Journal of Current Research and Review*, 12(22), 162–165. <https://doi.org/10.31782/IJCRR.2020.122227>
- de Freitas Barbosa, V. A., Gomes, J. C., de Santana, M. A., Albuquerque, J. E. d. A., de Souza, R. G., de Souza, R. E., & dos Santos, W. P. (2022). Heg.IA: an intelligent system to support diagnosis of Covid-19 based on blood tests. *Research on Biomedical Engineering*, 38(1), 99–116. <https://doi.org/10.1007/S42600-020-00112-5/FIGURES/9>
- Díaz, J. M. (2020). Artificial intelligence and big data as solutions to COVID-19. *Revista de Bioética y Derecho*, 50, 315–331.
- Elzeki, O. M., Elfattah, M. A., Salem, H., Hassanien, A. E., & Shams, M. (2021). A novel perceptual two layer image fusion using deep learning for imbalanced COVID-19 dataset. *PeerJ Computer Science*, 7, 1–35. <https://doi.org/10.7717/PEERJ-CS.364/SUPP-2>
- Fan, D. P., Zhou, T., Ji, G. P., Zhou, Y., Chen, G., Fu, H., Shen, J., & Shao, L. (2020). Inf-Net: Automatic COVID-19 Lung Infection Segmentation from CT Images. *IEEE Transactions on Medical Imaging*, 39(8), 2626–2637. <https://doi.org/10.1109/TMI.2020.2996645>
- Galván, P., Fusillo, J., González, F., Vukujevic, O., Recalde, L., Rivas, R., Ortellado, J., Portillo, J., Borba, J., & Hilario, E. (2022). Factibilidad de la utilización de la inteligencia artificial para el cribado de pacientes con COVID-19 en Paraguay. *Revista Panamericana de Salud Pública*, 46. <https://doi.org/10.26633/RPSP.2022.20>
- Gazzah, S., & Bencharef, O. (2020). A Survey on how computer vision can response to urgent need to contribute in COVID-19 pandemics. *2020 International Conference on Intelligent Systems and Computer Vision, ISCV 2020*. <https://doi.org/10.1109/ISCV49265.2020.9204043>
- Gisby, J., Clarke, C. L., Medjeral-Thomas, N., Malik, T. H., Papadaki, A., Mortimer, P. M., Buang, N. B., Lewis, S., Pereira, M., Toulza, F., Fagnano, E., Mawhin, M.-A., Dutton, E. E., Tapeng, L., Richard, A. C., Kirk, P., Behmoaras, J., Sandhu, E., McAdoo, S. P., ... Peters, J. E. (2020). *Longitudinal proteomic profiling of high-risk patients with COVID-19 reveals markers of severity and predictors of fatal disease*.
- Gong, J., Ou, J., Qiu, X., Jie, Y., Chen, Y., Yuan, L., Cao, J., Tan, M., Xu, W., Zheng, F., Shi, Y., & Hu, B. (2020). A Tool for Early Prediction of Severe Coronavirus Disease 2019 (COVID-19): A Multicenter Study Using the Risk Nomogram in Wuhan and Guangdong, China. *Clinical Infectious Diseases*, 71(15), 833–840. <https://doi.org/10.1093/CID/CIAA443>
- González-Rivero, M., Beijbom, O., Rodriguez-Ramirez, A., Bryant, D. E. P., Ganase, A., Gonzalez-Marrero, Y., Herrera-Reveles, A., Kennedy, E. V., Kim, C. J. S., Lopez-Marcano, S., Markey, K., Neal, B. P., Osborne, K., Reyes-Nivia, C., Sampayo, E. M., Stolberg, K., Taylor, A., Vercelloni, J., Wyatt, M., & Hoegh-Guldberg, O. (2020). Monitoring of Coral Reefs Using Artificial Intelligence: A Feasible and Cost-Effective Approach. *Remote Sensing 2020, Vol. 12, Page 489*, 12(3), 489. <https://doi.org/10.3390/RS12030489>
- Gozes, O., Frid-Adar, M., Greenspan, H., Browning, P. D., Zhang, H., Ji, W., Bernheim, A., & Siegel, E. (2020). *Rapid AI Development Cycle for the Coronavirus (COVID-19) Pandemic: Initial Results for Automated Detection & Patient Monitoring using Deep Learning CT Image Analysis*.
- Houssein, E. H., Emam, M. M., Ali, A. A., & Suganthan, P. N. (2021). Deep and machine learning techniques for medical imaging-based breast cancer: A comprehensive review. *Expert Systems with Applications*, 167, 114161. <https://doi.org/10.1016/J.ESWA.2020.114161>
- Ikemura, K., Bellin, E., Yagi, Y., Billett, H., Saada, M., Simone, K., Stahl, L., Szymanski, J., Goldstein, D. Y., & Gil, M. R. (2021). Using Automated Machine Learning to Predict the Mortality of Patients With COVID-19: Prediction Model Development Study. *J Med Internet Res* 2021;23(2):E23458 <https://www.jmir.org/2021/2/E23458>, 23(2), e23458. <https://doi.org/10.2196/23458>
- Ilyas, M., Rehman, H., & Nait-ali, A. (2020). *Detection of Covid-19 From Chest X-ray Images Using Artificial Intelligence: An Early Review*. <https://doi.org/10.48550/arxiv.2004.05436>
- Jamshidi, M., Lalbakhsh, A., Talla, J., Peroutka, Z., Hadjilooei, F., Lalbakhsh, P., Jamshidi, M., Spada, L. La, Mirmozafari, M., Dehghani, M., Sabet, A., Roshani, S., Roshani, S., Bayat-Makou, N., Mohamadzade, B., Malek, Z., Jamshidi, A., Kiani, S., Hashemi-Dezaki, H., & Mohyuddin, W.

- (2020). Artificial Intelligence and COVID-19: Deep Learning Approaches for Diagnosis and Treatment. *IEEE Access*, 8, 109581–109595. <https://doi.org/10.1109/ACCESS.2020.3001973>
- Kamil, M. Y. (2021). A deep learning framework to detect Covid-19 disease via chest X-ray and CT scan images. *International Journal of Electrical and Computer Engineering*, 11(1), 844–850. <https://doi.org/10.11591/ijece.v11i1.pp844-850>
- Kanne, J. P., Little, B. P., Chung, J. H., Elicker, B. M., & Ketai, L. H. (2020). Essentials for radiologists on COVID-19: An update-radiology scientific expert panel. *Radiology*, 296(2), E113–E114. <https://doi.org/10.1148/RADIOL.2020200527/ASSET/IMAGES/LARGE/RADIOL.2020200527.FIG1.JPEG>
- Kavitha, M., Jayasankar, T., Venkatesh, P. M., Mani, G., Bharatiraja, C., & Twala, B. (2021). COVID-19 Disease Diagnosis using Smart Deep Learning Techniques. *Journal of Applied Science and Engineering*, 24(3), 271–277. [https://doi.org/10.6180/JASE.202106_24\(3\).0001](https://doi.org/10.6180/JASE.202106_24(3).0001)
- Kitchenham, B., Charters, S., Budgen, D., Brereton, P., Turner, M., Linkman, S., Jørgensen, M., Mendes, E., & Visaggio, G. (2007). Guidelines for performing systematic literature reviews in software engineering. In *EBSE Technical report, Ver. 2.3*.
- Kutlu, Y., & Camgözü, Y. (2021). Detection of coronavirus disease (COVID-19) from X-ray images using deep convolutional neural networks. *Natural and Engineering Sciences*, 6(1), 60–74. <https://doi.org/10.28978/NESCIENCES.868087>
- Lai, C. C., Shih, T. P., Ko, W. C., Tang, H. J., & Hsueh, P. R. (2020). Severe acute respiratory syndrome coronavirus 2 (SARS-CoV-2) and coronavirus disease-2019 (COVID-19): The epidemic and the challenges. *International Journal of Antimicrobial Agents*, 55(3), 105924. <https://doi.org/10.1016/j.ijantimicag.2020.105924>
- Li, J., Zhao, G., Tao, Y., Zhai, P., Chen, H., He, H., & Cai, T. (2021). Multi-task contrastive learning for automatic CT and X-ray diagnosis of COVID-19. *Pattern Recognition*, 114, 107848. <https://doi.org/10.1016/j.patcog.2021.107848>
- Li, S., Wang, Y., Xue, J., Zhao, N., & Zhu, T. (2020). The Impact of COVID-19 Epidemic Declaration on Psychological Consequences: A Study on Active Weibo Users. *International Journal of Environmental Research and Public Health* 2020, Vol. 17, Page 2032, 17(6), 2032. <https://doi.org/10.3390/IJERPH17062032>
- Li, W. T., Ma, J., Shende, N., Castaneda, G., Chakladar, J., Tsai, J. C., Apostol, L., Honda, C. O., Xu, J., Wong, L. M., Zhang, T., Lee, A., Gnanasekar, A., Honda, T. K., Kuo, S. Z., Yu, M. A., Chang, E. Y., Rajasekaran, M. R., & Ongkeko, W. M. (2020). Using machine learning of clinical data to diagnose COVID-19: A systematic review and meta-analysis. *BMC Medical Informatics and Decision Making*, 20(1), 1–13. <https://doi.org/10.1186/S12911-020-01266-Z/FIGURES/6>
- López-Cabrera, J. D., Portal-Díaz, J. A., Orozco-Morales, R., & Pérez-Díaz, M. (2020). Revisión crítica sobre la identificación de covid-19 a partir de imágenes de rayos x de tórax usando técnicas de Inteligencia Artificial. *Revista Cubana de Transformación Digital*, 1, 67–99.
- Lozano, M. A., Orts, Ò. G. i., Piñol, E., Rebollo, M., Polotskaya, K., Garcia-March, M. A., Conejero, J. A., Escolano, F., & Oliver, N. (2021). Open Data Science to Fight COVID-19: Winning the 500k XPRIZE Pandemic Response Challenge. *Lecture Notes in Computer Science (Including Subseries Lecture Notes in Artificial Intelligence and Lecture Notes in Bioinformatics)*, 12978 LNAI, 384–399. https://doi.org/10.1007/978-3-030-86514-6_24/COVER
- Meng, Z., Wang, M., Song, H., Guo, S., Zhou, Y., Li, W., Zhou, Y., Li, M., Song, X., Zhou, Y., Li, Q., Lu, X., & Ying, B. (2020). Development and utilization of an intelligent application for aiding COVID-19 diagnosis. *MedRxiv*, 2020.03.18.20035816. <https://doi.org/10.1101/2020.03.18.20035816>
- Mijwil, M., Al-Mistarehi, A.-H., & Mutar, D. S. (2022). The Practices of Artificial Intelligence Techniques and Their Worth in the Confrontation of COVID-19 Pandemic: A Literature Review. *Mobile and Forensics*, 4(1), 11–30. <https://doi.org/10.12928/MF.V4I1.5691>
- Mohamed, A., Najafabadi, M. K., Wah, Y. B., Zaman, E. A. K., & Maskat, R. (2020). The state of the art and taxonomy of big data analytics: view from new big data framework. *Artificial Intelligence Review*, 53(2), 989–1037. <https://doi.org/10.1007/S10462-019-09685-9/TABLES/4>
- Morís, D. I., de Moura Ramos, J. J., Buján, J. N., & Hortas, M. O. (2021). Data augmentation approaches using cycle-consistent adversarial networks for improving COVID-19 screening in portable chest X-ray images. *Expert Systems with Applications*, 185, 115681.

- <https://doi.org/10.1016/J.ESWA.2021.115681>
- Narayan Das, N., Kumar, N., Kaur, M., Kumar, V., & Singh, D. (2022). Automated Deep Transfer Learning-Based Approach for Detection of COVID-19 Infection in Chest X-rays. *IRBM*, 43(2), 114–119. <https://doi.org/10.1016/J.IRBM.2020.07.001>
- Nour, M., Cömert, Z., & Polat, K. (2020). A Novel Medical Diagnosis model for COVID-19 infection detection based on Deep Features and Bayesian Optimization. *Applied Soft Computing*, 97, 106580. <https://doi.org/10.1016/j.asoc.2020.106580>
- Oh, Y., Park, S., & Ye, J. C. (2020). Deep Learning COVID-19 Features on CXR Using Limited Training Data Sets. *IEEE Transactions on Medical Imaging*, 39(8), 2688–2700. <https://doi.org/10.1109/TMI.2020.2993291>
- Oliver, N. (2022). *Ciencia de datos para el bien social: el ejemplo valenciano durante la pandemia de COVID-19*.
- Öner, Ö. (2020). *EBSCOhost | 144488885 | Coronavirus Disease 2019 (COVID-19): Diagnosis and Management*. 42(3), 242–247.
- Qin, L., Sun, Q., Wang, Y., Wu, K. F., Chen, M., Shia, B. C., & Wu, S. Y. (2020). Prediction of Number of Cases of 2019 Novel Coronavirus (COVID-19) Using Social Media Search Index. *International Journal of Environmental Research and Public Health* 2020, Vol. 17, Page 2365, 17(7), 2365. <https://doi.org/10.3390/IJERPH17072365>
- Sanchez-Romero, J., & Llerena-Izquierdo, J. (2023). Revisión de la literatura sobre el uso del aprendizaje profundo enfocado en sistemas de inspección ópticos automatizados para la detección de defectos superficiales en el sector de la manufactura. *Revista InGenio*, 6(2), 1–19. <https://doi.org/10.18779/ingenio.v6i2.680>
- Statsenko, Y., Zahmi, F. Al, Habuza, T., Gorkom, K. N.-V., & Zaki, N. (2021). Prediction of COVID-19 severity using laboratory findings on admission: informative values, thresholds, ML model performance. *BMJ Open*, 11(2), e044500. <https://doi.org/10.1136/BMJOPEN-2020-044500>
- Tuomisto, J. T., Yrjölä, J., Kolehmainen, M., Bonsdorff, J., Pekkanen, J., & Tikkanen, T. (2020). An agent-based epidemic model REINA for COVID-19 to identify destructive policies. *MedRxiv*, 2020.04.09.20047498. <https://doi.org/10.1101/2020.04.09.20047498>
- Wang, Y., Zhang, D., Du, G., Du, R., Zhao, J., Jin, Y., Fu, S., Gao, L., Cheng, Z., Lu, Q., Hu, Y., Luo, G., Wang, K., Lu, Y., Li, H., Wang, S., Ruan, S., Yang, C., Mei, C., ... Wang, C. (2020). Remdesivir in adults with severe COVID-19: a randomised, double-blind, placebo-controlled, multicentre trial. *The Lancet*, 395(10236), 1569–1578. [https://doi.org/10.1016/S0140-6736\(20\)31022-9](https://doi.org/10.1016/S0140-6736(20)31022-9)
- Yadaw, A. S., Li, Y. chak, Bose, S., Iyengar, R., Bunyavanich, S., & Pandey, G. (2020). Clinical features of COVID-19 mortality: development and validation of a clinical prediction model. *The Lancet Digital Health*, 2(10), e516–e525. [https://doi.org/10.1016/S2589-7500\(20\)30217-X](https://doi.org/10.1016/S2589-7500(20)30217-X)
- Yan, L., Zhang, H. T., Goncalves, J., Xiao, Y., Wang, M., Guo, Y., Sun, C., Tang, X., Jing, L., Zhang, M., Huang, X., Xiao, Y., Cao, H., Chen, Y., Ren, T., Wang, F., Xiao, Y., Huang, S., Tan, X., ... Yuan, Y. (2020). An interpretable mortality prediction model for COVID-19 patients. *Nature Machine Intelligence* 2020 2:5, 2(5), 283–288. <https://doi.org/10.1038/s42256-020-0180-7>
- Yang, Z., Zeng, Z., Wang, K., Wong, S. S., Liang, W., Zanin, M., Liu, P., Cao, X., Gao, Z., Mai, Z., Liang, J., Liu, X., Li, S., Li, Y., Ye, F., Guan, W., Yang, Y., Li, F., Luo, S., ... He, J. (2020). Modified SEIR and AI prediction of the epidemics trend of COVID-19 in China under public health interventions. *Journal of Thoracic Disease*, 12(3), 165. <https://doi.org/10.21037/JTD.2020.02.64>
- Ziamba, E. W., & Eisenhardt, M. (2022). The Effect of the Covid-19 Pandemic on ICT Usage by Academics. *Journal of Computer Information Systems*, 62(6), 1154–1168. <https://doi.org/10.1080/08874417.2021.1992806>