

ARTÍCULO DE REVISIÓN

# Un bosquejo de la Inteligencia Artificial frente a la COVID-19 en el mundo

*An Outline of Artificial Intelligence against COVID-19 in the World*

*Alejandro Rosete*

*rosete@ceis.cuje.edu.cu* • <http://orcid.org/0000-0002-4579-3556>

UNIVERSIDAD TECNOLÓGICA DE LA HABANA "JOSÉ ANTONIO ECHEVERRÍA", CUJAE, CUBA

*María Matilde García Lorenzo*

*mmgarcia@uclv.edu.cu* • <https://orcid.org/0000-0002-1663-5794>

UNIVERSIDAD CENTRAL "MARTA ABREU" DE LAS VILLAS, CUBA

*Yailé Caballero*

*yaile.caballero@reduc.edu.cu* • <https://orcid.org/0000-0002-6725-5812>

UNIVERSIDAD DE CAMAGÜEY, CUBA

*Rafael Bello*

*rbello@uclv.edu.cu* • <https://orcid.org/0000-0001-5567-2638>

UNIVERSIDAD CENTRAL "MARTA ABREU" DE LAS VILLAS, CUBA

*Recibido: 2020-09-23* • *Aceptado: 2020-10-24*

## RESUMEN

La pandemia de la COVID-19 ha cambiado muchos de los paradigmas de la sociedad moderna. Cuando ya han pasado nueve meses desde su inicio, aún no se tiene claro cómo y cuándo terminará, pero sí se sabe que dejará una sociedad cambiada. En este trabajo, se presenta un bosquejo de lo que ha podido aportar la Inteligencia Artificial en esta batalla contra la pandemia. Para ello, se revisan más de 30 trabajos publicados en las principales revistas científicas, en que se reportan aplicaciones de la Inteligencia Artificial frente a la COVID. Entre las temáticas en las que parece ser más importante están: el diagnóstico, el diseño de medicamentos, la predicción del comportamiento de la pandemia, y la gestión de la misma. Los métodos más empleados reportados son Aprendizaje Automático, y particularmente los de Aprendizaje Profundo. Sin ser exhaustivo, este bosquejo permite entender claramente el rol que la Inteligencia Artificial puede y debe jugar en este contexto.

**PALABRAS CLAVE:** inteligencia artificial; COVID-19; diagnóstico médico; aprendizaje automático.

## ABSTRACT

*COVID-19 pandemic has changed several paradigms of modern societies. More than 9 months since the initial outbreak there is no clear perspective about how and when it will be controlled. However, a new world will appear after it. This paper presents an outline of the current contribution of Artificial Intelligence in the fight against the pandemic. The outline is based on the revision of more than 30 papers published in the most outstanding scientific journals reporting intelligent approaches against COVID. The most important topics of these papers are related to medical diagnosis, drug discovery, pandemic forecasting, and pandemic management. The most used intelligent techniques are machine learning tools, particularly deep learning methods. Even though the presented outline is not exhaustive, it allows understanding which is the role that Artificial Intelligence can (must) play in this context.*

**KEYWORDS:** *artificial intelligence; COVID-19; medical diagnosis; machine learning.*

## INTRODUCCIÓN

La dispersión de la epidemia del nuevo coronavirus SARS-CoV-2 y de su enfermedad asociada COVID-19 ha marcado el mundo en el año 2020. En los primeros meses del año, el foco estuvo fundamentalmente en Asia (particularmente en China) pero luego se ha propagado por todos los continentes. A mediados de septiembre de 2020 ya afectaba a 213 países y se aproximaba a 30 millones de casos y a un millón de fallecidos (29.127.686 casos y 927.141 fallecidos, según el sitio [worldometers.info/coronavirus](http://worldometers.info/coronavirus), el 13 de septiembre), y aún era un fenómeno en evolución pues más de 7 millones de casos estaban activos (7.239.064). Incluso, el efecto dejado por la enfermedad en los más de 20 millones de personas recuperadas es un tema activo de investigación.

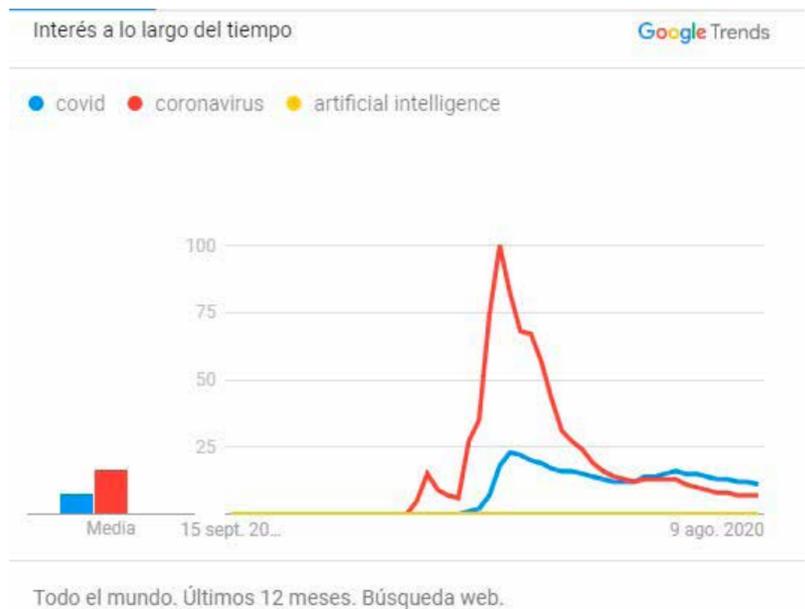
Como un reflejo de la atención que ha recibido esta epidemia, la figura 1 muestra una comparación en *Google Trends* donde se aprecia el aumento del interés por los términos relativos a la epidemia (COVID-19, coronavirus) entre los meses de septiembre de 2019 y septiembre del 2020. Se puede apreciar que las búsquedas relacionadas con la Inteligencia Artificial (IA) (Russel y Norvig, 2010) (término “*Artificial Intelligence*”) son comparativamente inexistentes.

Por su parte, la figura 2 muestra una ventana de tiempo similar de un año antes (entre septiembre de 2018 y septiembre del 2019) que muestra que en un intervalo igual la situación era la contraria, donde el interés por los coronavirus era mucho menos que por la Inteligencia Artificial.

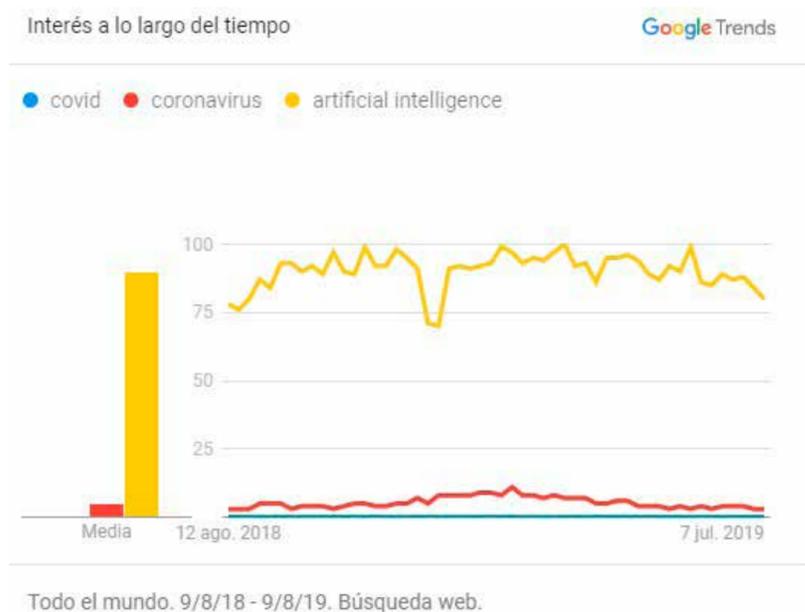
Si se asume que los intereses en las búsquedas son un reflejo de los temas que preocupan a los habitantes de nuestro planeta, estos gráficos sirven para mostrar cómo la epidemia ha cambiado al mundo. Este interés mundial se ha reflejado en todas las ciencias, que han puesto su foco en cómo enfrentar la propagación de la epidemia, y la Inteligencia Artificial no ha sido una excepción.

La Inteligencia Artificial (Russel y Norvig, 2010) goza de un reconocido prestigio en el mundo, tanto en general, como algunos de sus métodos o enfoques como la Ciencia de Datos (Skiena, 2017), el Aprendizaje Automático (Kubat, 2017), el Aprendizaje Profundo (Skansi, 2018), las Metaheurísticas (Talbi, 2009), la Lógica Difusa (también llamada Borrosa o *Fuzzy*) (Ebrahimnejad y Verdegay, 2018) o los Conjuntos Aproximados (Bello, *et al.*, 2020). De hecho, a fines de 2019 algunas encuestas (Magoulas y Swoyer, 2020; Perrault, *et al.*, 2020) reflejaban una tendencia clara hacia la inserción de las técnicas basadas en IA en muchas de las empresas líderes en el mundo, con un 85% de empresas declarando que evalúan o usan sistemas donde incluían técnicas de IA. Algunos trabajos recientes mostraban una concentración de muchos de los desarrollos de IA en pocas empresas (Montes y Goertzel; 2019) y la necesidad de cambiar esta tendencia. Igualmente, es muy activa la línea de investigación enfocada a lograr que la IA sea cada vez más fácil de comprender y explicar (Barredo-Arrieta, *et al.*, 2020), pues está llamada a ser un elemento muy importante en las sociedades actuales y futuras.

Por esta razón, no es sorprendente que las técnicas de IA estén entre las tecnologías que se consideran tienen un gran potencial para enfrentar la epidemia de COVID-19 (Vinod y Prabhakaran, 2020; Vaishya, *et al.*, 2020), y en la nueva configuración de un mundo post-COVID-19 (Bullock, *et al.*, 2020, Elavarasan y Pugazhendhi, 2020). Esto ofrece una oportunidad para el



**Figura 1.** Comparación del interés en *Google Trends* por los términos relacionados con COVID/ Coronavirus y por la Inteligencia Artificial (de septiembre 2019 a septiembre del 2020). Consultado el 9 de septiembre de 2020.



**Figura 2.** Comparación del interés en *Google Trends* por los términos relacionados con COVID/ Coronavirus y por la Inteligencia Artificial (de septiembre 2018 a septiembre del 2019). Consultado el 9 de septiembre de 2020.

desarrollo de la IA, a la vez que implica una responsabilidad para enfrentar esta situación por lo que se espera de ella. Algunos trabajos (Elavarasan y Pugazhendhi, 2020) consideran a la IA y el Aprendizaje Automático como tecnologías claves ante la COVID-19, de conjunto con otras tecnologías como las cadenas de suministros, la comunicación, la vigilancia, potenciadas por el Internet de las Cosas (IoT), la robótica, los drones y las aplicaciones móviles (Elavarasan y Pugazhendhi, 2020).

En este trabajo se presenta un bosquejo de la producción científica en el mundo sobre este tema, que no pretende ser una revisión sistemática (Kitchenham, *et al.*, 2020). De hecho, se verá que ya se han publicado varias contribuciones en lo que va de este año, tanto en general como para subtemas particulares. Concretamente, el bosquejo que se presenta, organiza coherentemente lo que aportan más de 30 publicaciones producidas en este año 2020 en las principales revistas científicas recuperables en *ScienceDirect* (con cierre de la búsqueda el 6 de septiembre de 2020). Esto permite entender lo que puede aportar la IA en la lucha actual y futura frente a la COVID-19, en el mundo y en Cuba, alineado a las ideas planteadas en este enfrentamiento por el Presidente de la República de Cuba (Díaz-Canel y Nuñez-Jover, 2020) y por el Presidente de la Academia de Ciencias de Cuba (Velázquez, 2020).

El trabajo se organiza en dos secciones. En la sección *Metodología* se explica la forma en que se condujo la revisión que se presenta, el origen de los trabajos y la forma de organizar los mismos alrededor de las cuatro temáticas que han marcado las líneas principales en que la IA ha sido aplicada en el contexto de la COVID-19. La sección *Desarrollo* bosqueja los resultados de la revisión descrita antes, y se incluyen algunas limitantes y retos obtenidos de los trabajos. Finalmente, se presentan las *Conclusiones*.

## METODOLOGÍA

### FUENTES UTILIZADAS PARA CONFORMAR EL BOSQUEJO

Como un bosquejo de los trabajos que se han publicado en las principales revistas científicas del mundo, se hizo una revisión de los que aparecen indizados en *ScienceDirect* (búsqueda realizada el 6 de septiembre) como resultado de la búsqueda en la conjunción de los términos “*Artificial Intelligence*” y “COVID-19”, así como resultados de términos vinculados como “*Soft Computing*” y “*Coronavirus*”.

Es importante destacar que entre los resultados se encontraron varios trabajos de revisión dedicados a la conjunción de estas dos temáticas (IA y COVID-19) como (Sipior, 2020; Swapnarekha, *et al.*, 2020; Lalmuanawma, *et al.*, 2020), o a subramas de ambos temas como el análisis de imágenes con técnicas de Aprendizaje Automático para el diagnóstico de COVID-19 (Suri, *et al.*, 2020, Shaikh, *et al.*, 2020) o para el diseño de medicamentos (Kaushik y Raj, 2020). Cada uno de estos trabajos por su profundidad y actualidad no pueden ser sustituidos por el bosquejo que aquí se presenta, y debe servir este para convidar a los interesados en cada tema en particular al estudio de aquellos trabajos. Aquí no se siguió a fondo un enfoque de revisión sistemática, aunque se tuvo su esquema general como referencia. Se excluyeron los trabajos

de los primeros meses de 2020 que fueron comentados en las revisiones que aquí se citan, o aquellos que constituían esquemas muy parecidos a otros ya citados y que no aportaban elementos sustancialmente diferentes para obtener la visión general a presentar.

Se encontraron 34 trabajos internacionales que servirán de base para el bosquejo que se presenta. Un primer aspecto interesante de los mismos es que en la mayor parte de ellos, el proceso de revisión de estos trabajos fue bastante rápido, comparado con los estándares de las revistas que están indizadas en *ScienceDirect*. Esto refleja un interés de las revistas por publicar la información sobre COVID-19 con la mayor inmediatez posible. De los 34 trabajos, aparecen las fechas de envío y aprobación de 30 de ellos. A partir de esos datos, se pudo apreciar lo siguiente:

- El tiempo promedio que existió entre el envío y la disponibilidad en línea de los trabajos fue de 50 días, siendo la mediana de 42 días.
- El 30% de los trabajos fueron aprobados en menos de un mes, y el 70% en menos de dos meses. Solo el 17% de los trabajos tardaron más de tres meses en aprobarse.
- De los 30 trabajos estudiados, solo cuatro fueron enviados antes de abril lo que implica que 26 de ellos fueron enviados hace menos de 6 meses. El mayor pico de envíos fue en junio, con 11.
- En cuanto a la aprobación, 23 fueron aprobados y publicados en los últimos tres meses (junio o después), con un pico igualmente en junio, con ocho.

De estos números puede deducirse la existencia de un conjunto notable de trabajos que deben estar en revisión, y que podrán salir a la luz en los próximos meses.

En cuanto al perfil de las revistas donde se publicaron estos 34 trabajos, se destaca que hay:

- Trece en trabajos en revistas de perfil médico, como *Computers in Biology and Medicine* (con dos), mientras varias publican uno como *Current Problems in Diagnostic Radiology*, *Computer Methods and Programs in Biomedicine*.
- Cinco en revistas de IA, con destaque para *Applied Soft Computing* (con tres).
- Cinco en revistas con un perfil informático más amplio (como *International Journal of Information Management*, *Computers & Industrial Engineering*).
- Once en revistas de otras temáticas, con especial destaque para la revista *Chaos, Solitons and Fractals* donde se han publicados nueve de estos trabajos.

Esta diversidad, refleja el interés en este tema desde variadas aristas, incluyendo el espacio logrado en revistas de corte médico en un contexto como este de la pandemia, donde otros estudios médicos más puros podrían dejar muy poco espacio para otras publicaciones.

Aunque esto puede reflejar una abundante literatura, algunos autores (Suri, *et al.*, 2020) creen que aún es insuficiente comparado con los casi 28.000 artículos sobre COVID-19 publicados en *PubMed*, y que deberían haber muchos más sobre el papel de la IA en temas concretos, como es el estudio de imágenes en pacientes con comorbilidades.

Es importante notar que reducir la búsqueda a *ScienceDirect* trata de buscar un foco en los mayores estándares de calidad y reducir el material a estudiar. Existen otras revistas de calidad que no aparecen en estas búsquedas, por lo que su ausencia aquí constituye una limitación que claramente tiene este trabajo. También es notable la cantidad de información pú-

blica que deja afuera pues solo en *Google Scholar* en el mismo momento (septiembre de 2020) aparecían más de 50 mil respuestas para los mismos términos descritos antes. Teniendo claras estas limitaciones, este bosquejo pretende reflejar algunas de las tendencias de la aplicación de la IA en el tema de la COVID-19.

### ENFOQUE GENERAL DE LOS TRABAJOS Y REVISIONES DEL TEMA

Para organizar la presentación del bosquejo, se partirá de la revisión muy temprana realizada por Bullock y sus colegas en marzo de 2020 (Bullock, *et al.*, 2020) que incluyó el estudio de más de 60 fuentes. Este excelente trabajo (cuyos autores pertenecen a entidades de la Organización de Naciones Unidas y la Organización Mundial de la Salud) estaba disponible en línea cuando aún muchos de los 34 trabajos que aquí se bosquejan no se habían enviado.

A pesar de ser un momento muy temprano de la evolución de la COVID-19, la organización y estructuración que aparece en esa revisión (Bullock, *et al.*, 2020) sigue siendo muy válida, por lo que se usará como guía general de este bosquejo, agregando y refinando con nuevos elementos que no aparecían cuando su trabajo fue publicado. Para esto, se tuvieron en cuenta revisiones más recientes, como las siguientes:

- Inteligencia Artificial y COVID-19, en sentido general (Sipior, 2020, Swapnarekha, *et al.*, 2020; Lalmuanawma, *et al.*, 2020).
- Las estrategias tecnológicas potenciales para el control de la COVID-19 (Elavarasan y Pugazhendhi, 2020).
- El empleo de la IA en el diagnóstico de COVID-19 (Swapnarekha, *et al.*, 2020; Vinod y Prabakaran, 2020).
- IA en el estudio de imágenes médicas (Suri, *et al.*, 2020; Shaikh, *et al.*, 2020).
- Marcos de comparación de técnicas de IA para imágenes (Albahri, *et al.*, 2020).
- Aplicaciones de IA en el replanteo de uso de fármacos (Mohanty, *et al.*, 2020) y descubrimiento de nuevos (Kaushik y Raj, 2020).

En cuanto a los contextos del enfrentamiento de la COVID-19 donde la IA puede aportar, (Bullock, *et al.*, 2020) identifican varios temas, que pueden agruparse de la manera siguiente:

- Tema 1. Diagnóstico médico, en aspectos como:
  - el diagnóstico a partir de imágenes médicas,
  - la predicción del comportamiento de los pacientes,
  - el modelado e identificación de casos asintomáticos.
- Tema 2. Diseño de tratamientos y medicinas (drogas), que incluye:
  - la estimación de la estructura de las proteínas vinculadas al SARS-CoV-2,
  - la identificación de tratamientos usando medicinas existentes para otros fines o proponer nuevas.
- Tema 3. Predicción de la pandemia:
  - el modelado de la pandemia y su propagación.
- Tema 4. Gestión de la pandemia:
  - la evaluación de políticas públicas,

- la evaluación del nivel de infodemia y el tratamiento de la propagación de la desinformación.

Es interesante notar que estos temas están muy alineados con las revisiones recientes, por lo que se puede decir que los temas en que la IA parece tener impacto se mantienen estables. De hecho (Vaishya, *et al.*, 2020) aunque plantean siete áreas, estas se pueden ubicar dentro de las anteriores (en el Tema 1 quedan ubicadas sus áreas I-III, en el tema 2 se ubica su área V, en el tema 3 se ubica su área IV, mientras que en el tema 4 se ubican sus áreas VI y VII). En el caso del trabajo de (Vaishya, *et al.*, 2020), se analizan casi 20 trabajos luego de aplicar varios criterios de inclusión/exclusión a los resultados obtenidos en *Pubmed*, *Scopus* y *Google Scholar*.

Más allá de estas clasificaciones que son útiles para presentar la información, es importante notar que todos estos aspectos se mezclan, por ejemplo, en la predicción de la evolución puede tenerse en cuenta el tipo de diagnóstico que se usa y su efectividad o de las medicinas nuevas que puedan desarrollarse, lo cual tiene implicaciones en la gestión gubernamental de una epidemia.

En la sección siguiente, se presentará el bosquejo de los 34 trabajos comentados, a partir de la estructura anterior para organizar los aportes de la IA frente al COVID-19: diagnóstico médico, diseño de tratamientos y medicinas, gestión de la pandemia. También se incluye una sección en que se comentan las limitaciones más comunes en los trabajos.

## DESARROLLO

### DIAGNÓSTICO MÉDICO

Desde la temprana revisión de (Bullock, *et al.*, 2020), ya se enumeraban algunos aportes interesantes de la IA como apoyo al diagnóstico. Además de los aportes al análisis de imágenes, en esa revisión se destacaban aportes como:

- El hallazgo de un patrón respiratorio rápido en la COVID-19 diferente de la gripe y el resfriado, para lo cual fueron empleadas redes neuronales como elemento de aporte a la hora de pesquisar.
- Desarrollo de un método para predecir las complicaciones de pacientes según los resultados de pruebas de laboratorio, a partir de datos de más de 300 características de pacientes con evolución favorable y otros con complicaciones, identificando indicadores clínicos predictores de complicaciones.
- Métodos basados en IA que son usados como complemento al PCR para enfrentar los falsos positivos por semejanzas con otros coronavirus.

En los nuevos trabajos, muchos de estos estudios se han extendido, tanto en su enfoque como en su alcance. Respecto al diagnóstico médico de la COVID-19, es interesante reflejar el estudio presentado por (Vaishya, *et al.*, 2020), que compara procedimientos generales de atención con y sin IA. Este enfoque es muy interesante, pues más allá de proponer nuevos métodos, esto refleja cómo la IA puede ser un elemento de transformación digital de la gestión de la atención médica.

Uno de las situaciones en las que más se ha estudiado el impacto de IA es en el diagnóstico a partir de imágenes médicas (Swapnarekha, *et al.*, 2020). Este aporte de la IA en el análisis de imágenes debe convertirse en parte integral del sistema médico, tanto en el tiempo de la pandemia como después según algunos autores (Suri, *et al.*, 2020).

Más allá de dar un diagnóstico, este aporte de la IA debe servir para clasificar la severidad de la infección (se crean estratos que luego deberán atenderse diferenciadamente). Este aspecto parece muy relevante en este contexto pues puede implicar una transformación que permite usar de modo más eficiente los recursos, lo cual es muy importante ante la posible falta de personal médico calificado para detección temprana y diagnóstico (Shaikh, *et al.*, 2020; Suri, *et al.*, 2020).

Según varios resultados reportados (Lalmuanawma, *et al.*, 2020), parece ser que la IA puede aumentar el poder predictivo y el uso de imágenes (Vinod y Prabakaran, 2020; Shaikh, *et al.*, 2020). Adicionalmente, la gran difusión de tecnologías de rayos X en el mundo clínico hace conveniente explotar esta oportunidad, respecto a otras vías de diagnóstico más restrictivas y caras como los test (Vinod y Prabakaran, 2020). También tiene la ventaja de reducir la intervención humana en la práctica médica, con los riesgos que esto implica (Lalmuanawma, *et al.*, 2020). Las imágenes empleadas vienen tanto de imágenes digitales de tomografías computarizadas como de rayos X (Vinod y Prabakaran, 2020).

Una revisión muy singular es la presentada por (Albahri, *et al.*, 2020), en la cual se hace notar la importancia de los marcos y criterios de comparación entre técnicas de IA en la clasificación de imágenes (Albahri, *et al.*, 2020), donde deja claro que los actuales esquemas de comparación hacen muy difícil llegar a conclusiones sobre las técnicas a recomendar, sin embargo, refuerza que las basadas en Aprendizaje Profundo son las más empleadas (Swapnarekha, *et al.*, 2020). En general, las técnicas de Aprendizaje Automático son las más empleadas y dentro de estas las basadas en Aprendizaje Profundo (Suri, *et al.*, 2020; Yan, *et al.*, 2020), seguidas por Máquinas de Soporte Vectorial (SVM, por sus siglas en inglés) y Random Forest (Lalmuanawma, *et al.*, 2020).

También se han reportado interesantes resultados usando métodos híbridos, por ejemplo combinando Árboles de Decisión con características extraídas usando Aprendizaje Profundo (Vinod y Prabakaran, 2020). Otros resultados muy buenos (precisión superior al 99%) con otros híbridos que combinan métodos basados en Lógica Fuzzy, Aprendizaje Profundo y optimización basado en metaheurísticas se reportan por (Togaçar, *et al.*, 2020), mientras que (Lalmuanawma, *et al.*, 2020) reporta el empleo de métodos estadísticos y otros enfoques matemáticos (Regresión y *Wavelet*) aunque generalmente con resultados peores. En general, se estima que alrededor del 39% de las propuestas usan Aprendizaje Profundo, un 37% usan otras técnicas de Aprendizaje Automático, mientras que queda un 24% para otros modelos matemáticos y estadísticos, aunque los más exitosos resultan ser los primeros (Swapnarekha, *et al.*, 2020).

Un enfoque alternativo es el presentado por (Oyelade y Ezugwu, 2020), basado en un modelo de Razonamiento Basado en Casos ampliado, que en la clasificación de los casos nuevos emplea los casos previos registrados. El sistema usa un nuevo modelo de selección de características y

un modelo matemático basado en semántica para el cálculo de las semejanzas y parte de la información textual en las historias clínicas y construye una ontología. La propuesta, que consta de una base inicial con 71 casos de pacientes logra una precisión cerca del 95%. Lo más singular (Oyelade y Ezugwu, 2020) es que por su esquema pueden ayudar a los médicos a diagnosticar casos sospechosos basado en los registros médicos, sin acudir a pruebas de laboratorio. Esto puede ayudar a minimizar el contagio, porque opera en un tiempo menor que esas pruebas y con buena precisión, y reduce así los falsos positivos que se observan en varios países.

A pesar de todas las ventajas de estos modelos, se reconoce que aún estos sistemas no están suficientemente desplegados para mostrar su operación a más amplia escala en el mundo real, pero están listas para valorarse a esas mayores escalas (Lalmuanawma, *et al.*, 2020). También se ha planteado la necesidad de incluir otros factores en el diagnóstico como son edad, género, diabetes, la hipertensión, problemas en el hígado y el riñón (Swapnarekha, *et al.*, 2020).

### **DISEÑO DE TRATAMIENTOS Y MEDICINAS (DROGAS)**

Es muy notable el énfasis puesto por (Bullock, *et al.*, 2020) en el uso de la IA para el diseño de medicamentos, donde se destaca algunas líneas como:

- Descubrimiento apoyado en IA de proteínas estructurales que son de interés por su relación con el SARS-CoV-2 y con sus posibles tratamientos.
- Uso de grafos de conocimiento que capturan las relaciones entre entidades (como proteínas y medicinas) que son útiles para identificación de posibles tratamientos.
- Estudios basados en IA para ver opciones de uso de medicinas conocidas para estos nuevos propósitos, lo que permitió llegar a una lista de proteínas vinculadas con el SARS-CoV-2, comparándolas con más de 4 mil drogas y encontrando 10 prometedoras.

En este tema, el interés se ha mantenido en los siguientes meses y se sigue considerando que la IA puede tener un impacto notable en el desarrollo de nuevos medicamentos y vacunas (Vaishya, *et al.*, 2020; Elavarasan y Pugazhendhi, 2020) donde se sugieren fundamentalmente los métodos de Aprendizaje Automático y en particular, los de Aprendizaje Profundo (Lalmuanawma, *et al.*, 2020).

En sentido general, las técnicas de IA puede ser muy útiles para predecir el efecto de medicamentos a partir de las secuencias del virus sacadas de los pacientes infectados, lo cual puede convertirse en un trabajo más a la medida que contribuya también al diseño de vacuna contra la COVID-19 (Kaushik y Raj, 2020). Dentro de estos esfuerzos, una línea muy interesante en la que la IA puede ser importante es en la reorientación de medicamentos (*Drug Repurposing*) que pretende analizar las potencialidades que pueden tener medicamentos conocidos para enfrentar la COVID-19 u otras nuevas enfermedades (Mohanty, *et al.*, 2020; Issa y Elaziz, 2020). Esta necesidad de reorientación es importante pero debe hacerse con cuidado, y no solo implica a los medicamentos. Por ejemplo, sistemas para control de condiciones seguras en construcciones se pueden modificar para el tema del COVID-19 y verificar el distanciamiento social; como también se pueden reorientar sistemas de detección de tuberculosis para ser usados en la COVID-19 (Sipior, 2020).

En el caso de los medicamentos, esta reorientación puede ser una vía para responder a la urgencia que impone la situación y las capacidades predictivas de la IA son importantes en esto (Ahuja 2020; Elavarasan y Pugazhendhi, 2020), debido a que los modelos de IA (fundamentalmente aquellos basados en Aprendizaje Profundo) pueden servir para predecir las estructuras de las drogas que podrían ser potencialmente útiles para el COVID-19, reto en el cual se declara que trabajan ya más de siete grandes organizaciones con el empleo de IA (Mohanty, *et al.*, 2020). Las capacidades analíticas de las técnicas de IA pueden ser muy importantes ante este reto donde se manejan volúmenes muy grandes de datos y se esperan resultados en poco tiempo (Park, *et al.*, 2020), especialmente para el entendimiento del funcionamiento del virus, sus mutaciones y poder predecirlas así como a sus efectos (Park, *et al.*, 2020).

Una de las vías es usar una técnica conocida como FLAT (*Fragmented Local Aligner Technique*) que es una herramienta de análisis de datos particular de este campo para detectar subsecuencias interesantes llamadas LCCS (*Longest Common Consecutive Subsequence*) entre pares de secuencias biológicas para buscar semejanzas entre el COVID-19 y otros virus (Issa y Elaziz, 2020). En este caso, (Issa y Elaziz, 2020) reportan la conveniencia de mejorar la técnica FLAT usando una metaheurística llamada *Ions Motion Optimization* (IMO) para producir LCCS aceptables en un tiempo razonable, superando los resultados de otros algoritmos.

No obstante estos esfuerzos, y la gran cantidad de investigadores en todo el mundo que están trabajando en vacunas con ayuda de IA, aún falta mucho para precisar su factibilidad y fiabilidad contra la COVID-19 (Kaushik y Raj, 2020).

Además de estos esfuerzos notables en el diseño y reorientación de medicamentos y vacunas basados en IA, hay otros dos trabajos enfocados en el tratamiento que optan por un camino diferente.

Uno de estos trabajos es el de (Ransing, *et al.*, 2020) enfocado en el tratamiento de los numerosos desórdenes mentales provocados por este tiempo de pandemia. Por ejemplo, en India se describen diferentes herramientas (aplicaciones móviles y *chatbots*) basadas en IA que permiten autoevaluarse y dar apoyo a personas afectadas (Ransing, *et al.*, 2020). La existencia de estas herramientas puede aumentar las posibilidades de intervención en condiciones de aislamiento y ausencia de personas específicas para esto. Este enfoque de Tele-Psiquiatría para tratar a personas afectadas tiene a su favor que requiere una mínima demanda de otros recursos del sistema de salud mental durante la pandemia, sin embargo, su uso es difícil de llevar a entornos rurales y remotos con peores servicios de Internet (Ransing, *et al.*, 2020). A pesar de ello, puede ser una ayuda para brindar una aproximación a estos servicios en países de poco desarrollo aunque se reconoce que faltan estudios rigurosos para evaluar la utilidad, efectividad, confidencialidad y calidad de las intervenciones (Ransing, *et al.*, 2020).

Otro enfoque singular es el presentado por (Ren, *et al.*, 2020) basado en el uso de la Lógica Difusa para decidir medicinas para pacientes de la COVID-19 que no estén en estado grave, con la ventaja de ser un contexto de menor riesgo y que puede liberar de estas tareas a personal de salud que puede dedicarse a casos más complejos.

También se reconoce que las técnicas de IA puede ser valiosas en el seguimiento y predicción de la evolución clínica de cada caso (Vaishya, *et al.*, 2020; Lalmuanawma, *et al.*, 2020) y en el análisis de contactos de los confirmados de COVID-19 u otras epidemias vinculadas (Lalmuanawma, *et al.*, 2020).

## PREDICCIÓN DE LA PANDEMIA

La predicción de la evolución de la pandemia es muy relevante para la gestión de la misma y para la toma de decisiones (Vaishya, *et al.*, 2020), por lo que esta subsección podría incluirse dentro de la siguiente. No obstante, por su nivel de actividad merece una mención particular.

Desde el trabajo de (Bullock, *et al.*, 2020) se destacan, entre otras, las siguientes líneas en que la IA estaba cumpliendo un papel relevante:

- Desarrollo de modelos de predicción alternativos al modelo clásico SIR (Susceptible, Infectado, Recuperado), mencionándose modelos chinos que eran muy exactos ya desde el inicio de la pandemia (Bullock, *et al.*, 2020)
- Desarrollo de un modelo (aplicado a la situación del crucero *Diamond Princess*) para predecir el nivel de casos asintomáticos. En aquel estudio se estimó en menos del 20%. (Bullock, *et al.*, 2020).

En general, en este esfuerzo de predecir el comportamiento de la pandemia, las organizaciones de salud y los gobiernos requieren de tecnologías de apoyo a la toma de decisiones en lo cual la IA puede ser de gran ayuda (Vaishya, *et al.*, 2020).

Muchos modelos de predicción de basan directamente en métodos estadísticos específicos para pandemias como el modelo SIR (Barbosa-Libotte, *et al.*, 2020), y en general hay uniformidad en considerar esta predicción como un elemento importante para asistir al gobierno en el diseño de estrategias para enfrentar la difusión de la COVID-19 (Swapnarekha, *et al.*, 2020). Sin embargo, en ocasiones se critica que estos modelos no consideran los casos asintomáticos (Swapnarekha, *et al.*, 2020), al igual que ignoran muchas veces los nacimientos y fallecimientos ajenos a la pandemia (Barbosa-Libotte, *et al.*, 2020).

Entre las alternativas al clásico SIR, Castillo y Melin (2020) reportan un modelo muy exitoso que combina la teoría fractal y lógica borrosa (*Fuzzy*), basado en un conjunto de reglas borrosas que usan como entrada las dimensiones fractales de las series de tiempo, y produce como salida la previsión de estas (en este caso, enfocado en casos confirmados y las muertes). Los resultados reportados a partir de entrenar el modelo con datos públicos de diez países logran una precisión en la predicción del 98% al trabajar con ventanas de tiempo de 10 y 30 días (Castillo y Melin, 2020).

Otro enfoque singular es el presentado por (Farooq y Bazaz, 2020) que usa aprendizaje profundo basado en redes neuronales diseñado como un algoritmo incremental para flujo de datos en tiempo real, que no necesita reentrenarse, lo cual es muy conveniente en este tipo de situaciones.

Adicionalmente a estos enfoques centrado en los datos propios de la COVID-19, hay trabajos como los de (Gomes, *et al.*, 2020), (Behnood, *et al.*, 2020) y (Malki, *et al.*, 2020) en que

se estudia la influencia del clima, especialmente la temperatura y la humedad. En el caso de (Gomes, *et al.*, 2020) se comparan varios métodos (diferentes regresiones, redes neuronales, métodos de vecinos más cercanos, y SVM, tanto solos como combinados) agregando elementos de preprocesamiento de las series de tiempo para pronósticos con una ventana de tiempo de seis días. Este estudio, aplicado a datos de Estados Unidos y Brasil encontró que los mejores resultados se alcanzan con las variantes híbridas que combinan varios métodos (Gomes, *et al.*, 2020).

En el caso de (Behnood, *et al.*, 2020), su enfoque se basa en el empleo de una metaheurística VOA (*Virus Optimization Algorithm*) y un sistema de inferencia neurodifuso (ANFIS) para investigar el efecto de las condiciones del clima y la densidad de la población en la propagación de la COVID-19 en varios condados de Estados Unidos. Este trabajo encontró una mayor influencia en la densidad de población que en las variables climáticas, lo cual refuerza la importancia del distanciamiento social como forma de reducir la infección y la difusión. De hecho, sus resultados solo encuentran una ligera influencia del aumento de la temperatura máxima en la reducción del ritmo de infección, mientras que la humedad relativa la acelera ligeramente, aunque reconocen que los datos empleados son limitados, para generalizar a partir de ellos.

Por su parte, (Malki, *et al.*, 2020) emplean varios métodos de regresión basados en Aprendizaje Automático para extraer relaciones entre factores y la difusión de la COVID-19. Lo más interesante de sus resultados es que encuentran que las variables del clima (temperatura y humedad) son más relevantes para la predicción de la mortalidad, y estiman que coinciden con (Behnood, *et al.*, 2020) en que la mayor temperatura reduce la infección.

En algunos trabajos se han empleado estos modelos para evaluar diferentes políticas, pero por tener un enfoque más de intervención que de predicción los mismos se verán en la sección siguiente.

## GESTIÓN DE LA PANDEMIA

Una de las razones que ha despertado el interés por las técnicas de IA en el contexto de la pandemia de COVID-19, es el reto que implica el tomar decisiones complejas teniendo pocas experiencias previas documentadas de situaciones similares (Ocampo y Yamagishi, 2020; Nikolopoulos, *et al.*, 2020). Esto ha llevado a que en muchos casos se opten por políticas de prueba y error enfocadas en evitar desbordar las capacidades de los sistemas de salud (Ocampo y Yamagishi, 2020).

Un trabajo muy interesante en esta línea es el de Ocampo y Yamagishi (2020) que se basa en el método *Dematel* (basado en Lógica Difusa intuicionista) para modelar las relaciones causales en forma de grafos considerando las relaciones entre los protocolos y las estrategias de relajación atendiendo la vaguedad e incertidumbre en los juicios humanos (Ocampo y Yamagishi, 2020). Con este estudio, se concluyen en la conveniencia de los protocolos que limitan el movimiento de personas, la suspensión de clases presenciales, evitar aglomeraciones, limitación o cierre de empresas dedicadas a los servicios no imprescindibles (museos, depor-

tes, turismo) que pueden implicar contactos. Para aplicarlo, necesitaron del apoyo de los conocimientos de grupos de expertos para modelar las políticas gubernamentales.

Otra dimensión en la gestión gubernamental en que las técnicas de IA pueden ser valiosas es en el monitoreo del comportamiento de la población y el seguimiento de las medidas a partir del vigilancia (Kumar, *et al.*, 2020) o de análisis de las trazas generadas por diferentes tecnologías (Otoom, *et al.*, 2020) como *Bluetooth*, *Global Positioning System* (GPS), grafos sociales, redes de contactos, telefonía móvil, y sistemas ciberfísicos. En el trabajo se mencionan casi 40 países (no se incluye Cuba) que declaran haber usado este enfoque (Lalmuanawma, *et al.*, 2020). (Otoom, *et al.*, 2020) presentan una arquitectura de *software* para este fin, enfocado en recolectar datos de síntomas y lograr identificación temprana de sospechosos, monitorear las respuestas de los recuperados, y entender la naturaleza de la dispersión del virus. Uno de los módulos de este sistema está enfocado al análisis de datos basado en técnicas de Aprendizaje Automático (como SVM, redes neuronales, clasificadores bayesianos, vecinos más cercanos, entre otros) y reportan resultados de precisión superiores al 90% con algunos de ellos. Este enfoque se considera muy importante mientras no exista una política masiva de vacunación (Otoom, *et al.*, 2020) e incluso ponen la protección de la salud general por encima del respeto por la privacidad (Elavarasan y Pugazhendhi, 2020; Kumar, *et al.*, 2020).

Un trabajo muy interesante es el de (Barbosa-Libotte, *et al.*, 2020), donde se enfoca el problema de la COVID-19 como un problema de obtener políticas óptimas de control para la administración de vacunas contra la enfermedad cuando estas existan. Para esto, propone ajustar un modelo SIR con datos reales, y luego adicionar la variable relativa a la política de vacunación, de modo que se pueda hacer un análisis de la sensibilidad del modelo ante la vacunación y obtener la política óptima. Para la optimización del modelo emplean la metaheurística Evolución Diferencial (Talbi, 2009) tanto con el objetivo de minimizar los contagios, como en un enfoque multi-objetivo que agrega el criterio relativo al uso eficiente de las dosis de vacuna. Es notable que en este trabajo (Barbosa-Libotte, *et al.*, 2020) se menciona el enfoque de estudio de la pandemia basada en simulación a nivel de individuos, aunque se opta por el uso de enfoque basados en poblaciones como es SIR. Este uso de la IA para evaluar los efectos de las medidas es algo muy relevante (Kumar, *et al.*, 2020).

Un trabajo interesante en este sentido es el de (Farooq y Bazaz, 2020) para estudiar modelos de enfrentamiento a la pandemia en escenarios aún sin vacunas. En sus simulaciones encuentran resultados muy buenos (baja mortalidad) en un modelo basado en estratificar la población según su riesgo ante la pandemia (alto y bajo riesgo) según sus factores de riesgo (comorbilidades y edad) y encuentra que puede ser efectivo un enfoque en que los de más riesgo sean aislados mientras que los de menos riesgo enfrenten la enfermedad y desarrollen inmunidad natural. Así, las personas con más riesgo ya podrían luego salir del confinamiento cuando ya queden rodeados de personas inmunizadas que no puedan enfermarse ni contagiar (Farooq y Bazaz, 2020), sin embargo, la extrapolación al mundo real donde esta estratificación es muy difícil provoca dudas de la propuesta, pero no deja de mostrar la validez de estas herra-

mientas para modelar situaciones hipotéticas. También en este trabajo se estudian, modelan y simulan otras medidas de confinamiento, vacunación e inmunidad de grupo y su impacto en la evolución de la COVID-19 (Farooq y Bazaz, 2020). Nótese que estos modelos, más que una Transformación Digital, pueden verse como una predicción digital de modelos posibles de la realidad.

Además de ser útiles en el estudio de escenarios, la IA puede ser relevante en el rediseño de la nueva sociedad post-COVID-19 (Elavarasan y Pugazhendhi, 2020) acelerando algunas dimensiones de la Transformación Digital. Entre los aspectos en que pueden haber reestructuraciones importantes están según (Elavarasan y Pugazhendhi, 2020): la Salud, aspectos de Gobernanza y Políticas, Gestión Pública (en dimensiones como el trabajo a distancia, la educación a distancia, la cooperación, el distanciamiento), la Industria (con prioridad hacia lo más necesario en cada contexto), Ambiente (por las afectaciones a las cadenas de suministro, la reducción del movimiento y la contaminación), y Energía (modificación de patrones de consumo), y en todas estas dimensiones la IA puede aportar. En el caso de las experiencias en línea, se ha notado un incremento en las compras en línea, la tele-formación, los pagos digitales, la tele-salud y el entretenimiento que pueden mantener sus efectos aun cuando pase la pandemia. En todas estas dimensiones, la IA está insertada desde hace años.

Un trabajo muy enfocado en la gestión de alto nivel es el de (Nikolopoulos, *et al.*, 2020), donde se estudian datos de varios países (Estados Unidos, India, Reino Unido, Alemania y Singapur, hasta mediados de abril del 2020) y usando varias técnicas de IA (Aprendizaje Profundo, vecinos más cercanos, agrupamiento), estadísticas y epidemiológicas estudian las tendencias de demandas de productos y servicios con el auxilio de otros datos (como *Google Trends*) a partir de simulaciones de decisiones como los confinamientos. Estos resultados pueden ser muy útiles a los Gobiernos, para esta y otras futuras pandemias, porque han servido para prever rupturas en cadenas de suministros, tanto por la demanda como por la limitación de movimientos. Por ejemplo, los modelos predijeron bien el pánico en las compras y la demanda excesiva de alimentos (Nikolopoulos, *et al.*, 2020).

En cuanto a efectos a largo plazo, se discute si la COVID-19 ha acelerado tendencias de Transformación Digital que se veían venir, como es la Automatización Inteligente (uso de IA en la automatización del trabajo de una manera incremental, auto-mejorada y adaptativa) para compensar la no disponibilidad de trabajadores humanos en ciertos sectores y momentos (Coombs, 2020). La COVID-19 puede acelerar esto al influir en una mayor familiarización y una mayor confianza de todos los actores así como una tendencia a evitar el contacto en las compras y pagos, aunque aún hay muchos factores en contra como es la insuficiente disponibilidad real de *Big Data*, algunas desconfianzas que quedan y la existencia de muchas tareas que los humanos hacen mejor, existiendo aún una gran disponibilidad de trabajadores humanos (Coombs, 2020).

En este contexto, también se han reportado enfoques de optimización para apoyar tareas asociadas a los efectos de la COVID-19 como es la organización de la atención de salud desde un enfoque de cubrimiento que permita una atención mejor distribuida considerando las

sobrecargas en ciertas zonas (Araújo, *et al.*, 2020), lo cual no solo tiene implicaciones para atención de salud, sino también para el abastecimiento de alimentos u otras necesidades. Otro ejemplo, es el diseño de atención médica domiciliaria y la distribución de medicamentos (Fathollahi, *et al.*, 2020) visto desde la perspectiva de un problema de ruteo, para lo cual se han empleado enfoques basados en la combinación de Lógica Difusa para manejar las incertidumbres y metaheurísticas, particularmente una variante multi-objetivo de SEO (*Social Engineering Optimizer*).

En la dimensión subjetiva de la gestión de la COVID-19 son interesantes dos trabajos. Por una parte, destaca el esfuerzo declarado por las autoridades de India para desarrollar estrategias proactivas para tratar la angustia y aflicción de la población (Ransing, *et al.*, 2020).

Por otra parte, también hay varios trabajos que defienden la importancia de la IA para enfrentar la avalancha de información, tanto para la detección de la información falsa que debe ser sustituida por una comunicación efectiva (Elavarasan y Pugazhendhi, 2020; (Ahuja, *et al.*, 2020) como para el procesamiento basado en IA para minar la gran cantidad de datos y artículos y obtener patrones y aspectos significativos que pueden ayudar para desarrollar tratamientos y desarrollar vacunas (Ahuja, *et al.*, 2020). Desde el temprano trabajo de (Bullock, *et al.*, 2020) ya se había incluido el tema de la IA en la gestión de la infodemia, en que se concluyó que las informaciones de fuentes confiables y no confiables se propagan de manera similar, aunque se dice que los lectores alcanzan un mayor compromiso con las fuentes más confiables y conocidas. Otros estudios estimaban en alrededor de un 5% las informaciones erróneas o que son desinformación (Bullock, *et al.*, 2020).

En esta avalancha de información útil en forma de artículos científicos, se destaca el papel de China (con más del 20% de los artículos); seguido por Estados Unidos, Reino Unido e Italia (con entre un 10 y 20 %); seguido luego por los aportes de India, Francia, República de Corea, Japón, Egipto, Australia, Turquía, Canadá, Alemania, Arabia Saudita, Pakistán, Países Bajos, Brasil, Irán, España, Iraq, Grecia, Tailandia, y Singapur (Swapnarekha, *et al.*, 2020).

## RETOS Y LIMITACIONES

En cuanto a conclusiones globales, en el trabajo de (Bullock, *et al.*, 2020) hay dos que se adelantaron a la evolución futura, y que conviene destacar, pues allí se afirmaba entre las limitaciones las siguientes:

- Hay muchas aplicaciones potenciales de la IA pero pocas aún están maduras para usarse.
- Es necesario que se compartan datos (moleculares, médicos y científicos) con este fin para poder hacer realidad el aporte de la IA al enfrentamiento de la pandemia. Se deja muy claro que ninguna aplicación de IA (y en particular de *Machine Learning* o *Datamining*) es posible si no hay datos y que, en general, eran escasos en ese momento inicial.

En los meses subsiguientes, la situación parece ser similar, aunque en general ha existido un crecimiento de datos disponibles relacionados con la COVID-19 que pueden explotarse con enfoques de IA (Ahuja, *et al.*, 2020). Se reconoce que los datos para la aplicación de IA

contra la COVID-19 han venido de tres fuentes principales: datos clínicos, web y biomédicos (Swapnarekha, *et al.*, 2020) pero quedan limitaciones en el uso de bases de datos de imágenes médicas, tanto por la cantidad de bases de datos como por el tamaño de las mismas para las necesidades de los modelos de IA (Swapnarekha, *et al.*, 2020). Esta situación hay que tenerla muy en cuenta, pues cuando los datos no tienen la calidad adecuada pueden implicar resultados sorprendentes, incluso con tendencias sesgadas, ya que estos datos son el flujo sanguíneo que da vida a la IA (Sipior, 2020). Un aspecto a tratar, es la conexión de los datos, evitando la separación en silos desconectados: unos del Gobierno, otros de la Academia, otros de la Empresa (Sipior, 2020).

Esta situación de los datos parece ser un reto mayor para los países con menor desarrollo, tanto para la recolección de los datos como para el despliegue de soluciones, por ejemplo debido a la infraestructura móvil, el analfabetismo o el uso de idiomas diferentes (Swapnarekha, *et al.*, 2020). Adicionalmente, la necesidad de datos no debe implicar un uso irresponsable, por lo que se impone la necesidad de establecer consideraciones éticas y regulaciones, específicamente en el contexto de salud (Sipior, 2020).

Otras de las limitaciones que ha sido confirmada en los recientes estudios, es la necesidad de precaución. (Laghi, 2020), aunque se reconoce que la IA está encaminada a causar un cambio de paradigma en la atención de salud, con posibles muchos usos en tiempo de COVID-19, considera que no se debe ser demasiado optimista. De hecho se dice que hay muchos resultados no basados en evidencias científicas en trabajos sobre imágenes de pulmones, y que existen expertos médicos que no creen que son útiles las imágenes de tomografías en los casos asintomáticos (Laghi, 2020). Esto no quita que este autor afirma que la IA puede ser valiosa en apoyo al trabajo del radiólogo (Laghi, 2020). De hecho, hay algunas muestras de escepticismo con algunos resultados que se consideran sorprendentemente (sospechosamente) buenos, como son las precisiones superiores al 90%, debido a la posible poca representatividad de los pacientes (Sipior, 2020).

Como nota curiosa de los trabajos presentados, resulta interesante que a pesar de que en algunos artículos se menciona la relevancia del enfoque de simulación de comportamiento de individuos para el pronóstico (Barbosa-Libotte, *et al.*, 2020), en el que las tecnologías de agentes son muy valiosas (Lu, *et al.*, 2019) estas no hayan tenido un destaque entre las tecnologías de IA más mencionadas.

Sin duda, la gran cantidad de trabajo reflejado en este bosquejo refleja la formidable responsabilidad que tiene la Computación (en general) y la IA (en particular) en la forma de la sociedad post-COVID-19 (Sipior, 2020), que se manifiesta en las muchas aplicaciones reportadas (Sipior, 2020).

Una encuesta a 30 de las compañías transnacionales más importantes revela que en el 30% de ellas se está usando IA para algunas tareas, mientras que un 17% se cuenta con despliegues de soluciones de IA que cubren toda la empresa. Esto refleja que aún son muchas las organizaciones que no están preparadas para un influjo de aplicaciones IA vinculadas al COVID-19, pues se requiere antes una correcta alineación de las estrategias computacionales con los in-

tereses de las empresas para aplicar la IA de manera efectiva (Sipior, 2020). A pesar de que estos números puedan parecer muy grandes, son menores que los porcentos que indican otras encuestas (Magoulas, R. y Swoyer, 2020; Perrault, *et al.*, 2020).

De hecho, entre los retos fundamentales para una mayor adopción de tecnologías digitales en los sistemas de salud está el desarrollo de los sistemas de información de salud, la falta de cultura digital, estratificación digital, los aspectos económicos, la falta de datos fiables y la ineficiencia en los costos (Mardani, *et al.*, 2020). Para esto, partieron del análisis de fortalezas, debilidades, amenazas y oportunidades, considerando que las tecnologías digitales son parte inseparable de la vida humana (Mardani, *et al.*, 2020). Un factor que puede ayudar a alinear todos estos factores es la conformación de equipos de desarrollo y despliegue que sean multidisciplinarios (Sipior, 2020) y la necesidad de atender a la explicabilidad (XAI) más aún en los sistemas que fueron resultado de una reorientación o de una cantidad de datos limitada (Sipior, 2020).

Este último aspecto es fundamental en aras de incrementar la credibilidad en los sistemas basados en Inteligencia Artificial, lo cual es especialmente importante en campos como la Salud. Como se muestra por (Cannon, 2019) y por (Wang y Siau, 2018), el 30% se siente cómodo haciendo negocios donde se tenga que interactuar con programas de IA; solo el 9% dijo sentirse muy cómodo con la idea; muchos creen que la IA es incapaz de tomar decisiones no sesgadas; el 53% cree que toma decisiones sesgadas; el 70% prefiere hablar con un humano en lugar de con un sistema de IA o un *chatbot*; la mayoría cree que los programas con IA no tienen en cuenta la moralidad o la empatía: solamente el 12% de consumidores cree que la IA puede diferenciar entre el bien o el mal; y el 56% no cree posible desarrollar productos que se comporten moralmente.

## CONCLUSIONES

En este trabajo se ha presentado un bosquejo de las diversas áreas donde la aplicación de técnicas de Inteligencia Artificial puede ser un aporte en la lucha contra la COVID. Particularmente, se han mostrado ejemplos de la tendencia al empleo de la Inteligencia Artificial en apoyo el diagnóstico médico, el desarrollo de nuevos medicamentos, y la gestión de la epidemia, incluyendo las dimensiones prospectiva, logística y de análisis de opiniones y noticias.

Entre las técnicas de Inteligencia Artificial más empleadas se destacan las de Aprendizaje Automático (con especial destaque para las de Aprendizaje Profundo) aunque también se emplean otras como las basadas en Lógica *Fuzzy* y Metaheurísticas, o modelos híbridos.

Más allá de las aplicaciones que aquí se comentan y los retos identificados, este trabajo pretende convocar a considerar realmente a la Inteligencia Artificial como un elemento importante en la transformación digital de nuestra sociedad, no solo conectando y habilitando el uso de las tecnologías, o recopilando informaciones, sino aprendiendo de todo el conocimiento que los datos pueden aportar si se usan herramientas inteligentes para su análisis.

## REFERENCIAS

- Ahuja, A.S., Reddy, V.P. y Marques, O. (2020). Artificial intelligence and COVID-19: A multidisciplinary approach. *Integrative Medicine Research*, 9(100434). doi:10.1016/j.imr.2020.100434
- Albahri, O.S., Zaidan, A.A., Albahri, A.S., Zaidan, B.B., Abdulkareem, K.H., Al-qaysi, Z.T., Alamoodi, A.H., Aleesa, A.M., Chyad, M.A., Alesa, R.M., Kem, B.B., Lakulu, M.M., Ibrahim, A.B. y Rashida, N.A. (2020). Systematic review of artificial intelligence techniques in the detection and classification of COVID-19 medical images in terms of evaluation and benchmarking: Taxonomy analysis, challenges, future solutions and methodological aspects. *Journal of Infection and Public Health*. doi:10.1016/j.jiph.2020.06.028
- Araújo, E.J., Chaves, A.A. y Lorena, L.A.N. (2020). A mathematical model for the coverage location problem with overlap control. *Computers & Industrial Engineering*. 146(106548). doi:10.1016/j.cie.2020.106548
- Barbosa-Libotte, G., Lobato, F.G., Mendes-Platt, G. y Silva-Neto, A.J. (2020). Determination of an optimal control strategy for vaccine administration in COVID-19 pandemic treatment. *Computer Methods and Programs in Biomedicine*, 196(105664). doi:10.1016/j.cmpb.2020.105664
- Barredo-Arrieta, A., Díaz-Rodríguez, N., Del-Ser, J., Bennetot, A., Tabik, S., Barbado, A., Garcia, S., Gil-Lopez, S., Molina, D., Benjamins, R., Chatilaf, R. y Herrera, F. (2020). Explainable Artificial Intelligence (XAI): Concepts, taxonomies, opportunities and challenges toward responsible AI. *Information Fusion*, 58, 82–115. doi:10.1016/j.inffus.2019.12.012
- Behnood, A., Golafshani, E. M. y Hosseini, S. M. (2020). Determinants of the infection rate of the COVID-19 in the U.S. using ANFIS and virus optimization algorithm (VOA). *Chaos, Solitons and Fractals*, 139(110051). doi:10.1016/j.chaos.2020.110051
- Bello, R., Miao, D., Falcon, R., Nakata, M., Rosete, A. y Ciucci, D. (Eds.) (2020). *Rough Sets, Proceedings of the International Joint Conference IJCRS 2020, Havana, Cuba, June 29 – July 3, 2020*. Lecture Notes in Artificial Intelligence, Vol. 12179, [versión electrónica de Springerlink] <https://www.springer.com/gp/book/9783030527044>
- Bullock, J., Luccioni, A., Hoffmann-Pham, K., Nga-Lam, C. S. y Luengo-Oroz, M. (2020). *Mapping the Landscape of Artificial Intelligence Applications Against Covid-19*. arXiv:2003.11336v1 cs.CY.
- Cannon, J. (2019). *Report shows consumers don't trust artificial intelligence*. Recuperado de: <https://www.fintechnews.org/report-shows-consumers-dont-trust-artificial-intelligence/>
- Castillo, O. y Melin, P. (2020). Forecasting of COVID-19 time series for countries in the world based on a hybrid approach combining the fractal dimension and fuzzy logic. *Chaos, Solitons and Fractals*, 140(110242). doi: 10.1016/j.chaos.2020.110242
- Coombs, C. (2020). Will COVID-19 be the tipping point for the Intelligent Automation of work? A review of the debate and implications for research. *International Journal of Information Management*, doi:10.1016/j.ijinfomgt.2020.102182

- Díaz-Canel, M. y Núñez-Jover, J. (2020). Gestión gubernamental y ciencia cubana en el enfrentamiento a la COVID-19. *Anales de la Academia de Ciencias de Cuba*, 10(2, especial COVID-19)
- Ebrahimnejad, A. y Verdegay, J.L. (2018). *Fuzzy Sets-Based Methods and Techniques for Modern Analytics*. Studies in Fuzziness and Soft Computing. Vol 364. Springer Nature. [versión electrónica de Springerlink] <http://link.springer.com/book/10.1007/978-3-319-73903-8>
- Elavarasan, R.M. y Pugazhendhi, R. (2020). Restructured society and environment: A review on potential technological strategies to control the COVID-19 pandemic. *Science of the Total Environment* 725 (138858). doi: 10.1016/j.scitotenv.2020.138858
- Farooq, J. y Bazaz, M.A. (2020). A novel adaptive deep learning model of COVID-19 with focus on mortality reduction strategies. *Chaos, Solitons and Fractals*, 138(110148). doi:10.1016/j.chaos.2020.110148
- Fathollahi-Fard, A.M., Ahmadi, A., Goodarzian, F. y Cheikhrouhou, N. (2020). A bi-objective home healthcare routing and scheduling problem considering patients' satisfaction in a fuzzy environment. *Applied Soft Computing Journal*, 93(106385). doi:10.1016/j.asoc.2020.106385
- Gomes, R. Ribeiro, M. H. D. M., Mariani, V. C. y dos Santos, L. (2020). Forecasting Brazilian and American COVID-19 cases based on artificial intelligence coupled with climatic exogenous variables. *Chaos, Solitons and Fractals*, 139(110027). doi:10.1016/j.chaos.2020.110027
- Issa, M. y Elaziz, M. A. (2020). Analyzing COVID-19 virus based on enhanced fragmented biological Local Aligner using improved Ions Motion Optimization algorithm. *Applied Soft Computing Journal*. doi:10.1016/j.asoc.2020.106683
- Kaushik, A.C. y Raj, U. (2020). AI-driven drug discovery: A boon against COVID-19? *AI Open*, 1, 1–4. doi:10.1016/j.aiopen.2020.07.001
- Kitchenham, B., Pretorius, R., Budgen, D., Brereton O. P., Turner, M., Niazi, M. y Linkman, S. (2010) Systematic literature reviews in software engineering – A tertiary study. *Information and Software Technology*, 52, 792–805. doi:10.1016/j.infsof.2010.03.006
- Kubat, M. (2017). *An Introduction to Machine Learning*. 2nd ed. Springer International Publishing AG. [versión electrónica de Springerlink] <http://link.springer.com/openurl?genre=book&isbn=978-3-319-63913-0>
- Kumar, A., Sharma, K., Singh, H., Naugriya, S.G., Gill S. S. y Buyya, R. (2021). A drone-based networked system and methods for combating coronavirus disease (COVID-19) pandemic. *Future Generation Computer Systems*, 115, 1–19, doi:10.1016/j.future.2020.08.046
- Laghi, A. (2020). Cautions about radiologic diagnosis of COVID-19 infection driven by artificial intelligence. *TheLancet*, 2(May), 225. Recuperado: [www.thelancet.com/digital-health](http://www.thelancet.com/digital-health).
- Lalmuanawma, S., Hussain, J. y Chhakchhuak, L. (2020). Applications of machine learning and artificial intelligence for COVID-19 (SARS-CoV-2) pandemic: A review. *Chaos, Solitons and Fractals*, 139(110059), doi:10.1016/j.chaos.2020.110059

- Lu, J., Feng, L., Yang, J., Hassan, M.M., Alelaiwi, A., y Humar, I. (2019). Artificial agent: The fusion of artificial intelligence and a mobile agent for energy-efficient traffic control in wireless sensor networks. *Future Generation Computer Systems*, 95, 45–51, doi:10.1016/j.future.2018.12.024
- Magoulas, R. y Swoyer, S. (2020). *AI Adoption in the Enterprise*. Beijing: O'Reilly. Recuperado de <http://www.oreilly.com/data/free/ai-adoption-in-the-enterprise.csp>
- Malki, Z., Atlam, E.S., Hassanien, A.E., Dagneu, G., Elhosseini, M.A. y Gad, I. (2020). Association between weather data and COVID-19 pandemic predicting mortality rate: Machine learning approaches. *Chaos, Solitons and Fractals*, 138(110137). doi:10.1016/j.chaos.2020.110137
- Mardani, A, Saraji, M.K., Mishra, A.R. y Rani, P. (2020). A novel extended approach under hesitant fuzzy sets to design a framework for assessing the key challenges of digital health interventions adoption during the COVID-19 outbreak. *Applied Soft Computing Journal*, 96(106613). doi:10.1016/j.asoc.2020.106613
- Mohanty, S., Harun, M., Rashid, A. I., Mridul, M., Mohanty, C. y Swayamsiddha, S. (2020). Application of Artificial Intelligence in COVID-19 drug repurposing. *Diabetes & Metabolic Syndrome: Clinical Research & Reviews*, 14, 1027-1031. doi: 10.1016/j.dsx.2020.06.068
- Montes, G.A. y Goertzel, B. (2019). Distributed, decentralized, and democratized artificial intelligence. *Technological Forecasting & Social Change*, 141, 354–358. doi:10.1016/j.techfore.2018.11.010
- Nikolopoulos, K., Punia, S., Schäfers, A., Tsinopoulos, C. y Vasilakis, C. (2020). Forecasting and planning during a pandemic: COVID-19 growth rates, supply chain disruptions, and governmental decisions. *European Journal of Operational Research*. doi:10.1016/j.ejor.2020.08.001
- Ocampo, L y Yamagishi, K. (2020). Modeling the lockdown relaxation protocols of the Philippine government in response to the COVID-19 pandemic: An intuitionistic fuzzy DEMATEL analysis. *Socio-Economic Planning Sciences*, doi:10.1016/j.seps.2020.100911
- Otoom, M., Otoum, N., Alzubaidi, M.A., Etoom, Y. y Banihani, R. (2020). An IoT-based framework for early identification and monitoring of COVID-19 cases. *Biomedical Signal Processing and Control*, 62(102149). doi:10.1016/j.bspc.2020.102149
- Oyelade, O.N., y Ezugwu, A.E. (2020). A case-based reasoning framework for early detection and diagnosis of novel coronavirus. *Informatics in Medicine Unlocked*, 20100395. doi:10.1016/j.imu.2020.100395
- Park, Y., Casey, D., Joshi, I., Zhu, J. y Cheng, F. (2020). Emergence of New Disease: How Can Artificial Intelligence Help? *Trends in Molecular Medicine*, July 26(7), 627-629. doi:10.1016/j.molmed.2020.04.007
- Perrault, R., Shoham, Y., Brynjolfsson, E., Clark, J., Etchemendy, J., Grosz, B., et al. (2019) *The AI Index 2019 Annual Report*. AI Index Steering Committee. Human-Centered AI Institute. Stanford University. Recuperado de <http://hai.stanford.edu/>
- Raju Vaishya, R., Javaid, M., Khan, I. H. y Haleem, A. (2020). Artificial Intelligence (AI) appli-

- cations for COVID-19 pandemic. *Diabetes & Metabolic Syndrome: Clinical Research & Reviews* 14, 337-339. doi:10.1016/j.dsx.2020.04.012
- Ransing, R., Nagendrappa, S., Patil, A., Shoib, S. y Sarkar, D. (2020). Potential role of artificial intelligence to address the COVID-19 outbreak-related mental health issues in India. *Psychiatry Research*, 290(113176). doi:10.1016/j.psychres.2020.113176
- Ren, Z., Liao, H., y Liu Y. (2020). Generalized Z-numbers with hesitant fuzzy linguistic information and its application to medicine selection for the patients with mild symptoms of the COVID-19. *Computers & Industrial Engineering*, 145(106517). doi:10.1016/j.cie.2020.106517
- Russell, S.J. y Norvig, P. (2010). *Artificial Intelligence: A Modern Approach*. 3rd ed. New Jersey: Prentice Hall.
- Shaikh, F., Brun-Andersen, M., Sohail, M. R., Mulero, F., Awan, O., Dupont-Roettger, D., Kubassova, O., Dehmeshki, J., y Bisdas, S. (2020). Current Landscape of Imaging and the Potential Role for Artificial Intelligence in the Management of COVID-19, *Current Problems in Diagnostic Radiology*, 000, 1-6, doi: 10.1067/j.cpradiol.2020.06.009
- Sipior, J.C. (2020). Considerations for development and use of AI in response to COVID-19. *International Journal of Information Management*. doi:10.1016/j.ijinfomgt.2020.102170
- Skansi, S. (2018). *Introduction to Deep Learning: From Logical Calculus to Artificial Intelligence*. Springer Nature. [versión electrónica de Springerlink] <http://link.springer.com/openurl?genre=book&isbn=978-3-319-73004-2>
- Skiena, S.S. (2017). *The Data Science Design Manual*. Springer [versión electrónica de Springerlink] <http://link.springer.com/openurl?genre=book&isbn=978-3-319-55444-0>
- Suri, J.S., Puvvula, A., Biswas, M., Majhail, M., Saba, L., Faa, G., Singh, I.M., Oberleitner, R., Turk, M., Chadha, P.S., Johri, A.M., Sanches, J.M., Khanna, N.N., Viskovic, K., Mavrogeni, S., Laird, J.R., Pareek, G., Miner, M., Sobel, D.W., Balestrieri, A., Sfikakis, P.P., Tsoulfas, G., Protogerou, A., Misra, D.P., Agarwal, V., Kitas, G.D., Ahluwalia, P., Kolluri, R., Teji, J., Maini, M.A., Agbakoba, A, Dhanjil, S.K., Sockalingam, M., Saxena, A., Nicolaides, A., Sharma, A., Rathore, V., Ajuluchukwu, J.N.A., Fatemi, M., Alizad, A., Viswanathan, V., Krishnan, P.K. y Naidu, S. (2020). COVID-19 pathways for brain and heart injury in comorbidity patients: A role of medical imaging and artificial intelligence-based COVID-19 severity classification: A review. *Computers in Biology and Medicine*, doi: 10.1016/j.compbimed.2020.103960
- Swapnarekha, H., Behera, H.S., Nayak, J., y Naik B. (2020). Role of intelligent computing in COVID-19 prognosis: A state-of-the-art review. *Chaos, Solitons and Fractals*, 138(109947). doi: 10.1016/j.chaos.2020.109947
- Talbi, E.G. (2009). *Metaheuristics from Design to Implementation*. London, UK: Wiley.
- Togaçar, M., Ergen, B. y Comert, Z. (2020). COVID-19 detection using deep learning models to exploit Social Mimic Optimization and structured chest X-ray images using fuzzy color and stacking approaches. *Computers in Biology and Medicine*, 121(103805). doi:10.1016/j.compbimed.2020.103805
- Velázquez-Pérez, L. (2020). La COVID-19: reto para la ciencia mundial, Editorial. *Anales de la Academia de Ciencias de Cuba*, 10(2, especial COVID-19)

Vinod, D.N. y Prabakaran, S.R.S. (2020). Data science and the role of Artificial Intelligence in achieving the fast diagnosis of COVID-1., *Chaos, Solitons and Fractals*, 140(110182), doi:10.1016/j.chaos.2020.110182

Wang, W. y Siau, K. (2018). Trusting Artificial Intelligence in Healthcare. En *Twenty-fourth Americas Conference on Information Systems (AMCIS '2018)*, At. New Orleans. Recuperado de: <http://www.researchgate.net>

Yan, T., Wong, P. K., Ren, H., Wang, H., Wang, J. y Li, Y. (2020). Automatic distinction between COVID-19 and common pneumonia using multi-scale convolutional neural network on chest CT scans. *Chaos, Solitons and Fractals*, 140(110153), doi:10.1016/j.chaos.2020.110153

Copyright © 2020 Rosete, A., García-Lorenzo, M. M., Caballero, Y., Bello, R.



Este obra está bajo una licencia de Creative Commons Reconocimiento 4.0 Internacional.