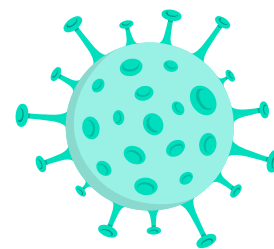


COVID-19 y sus implicaciones sociales: una mirada desde las ciencias computacionales



COVID-19 and its social implications: a view from the computational sciences

Jose Lisandro Aguilar Castro

<https://orcid.org/0000-0003-4194-6882>

aguilar@ula.ve/aguilarjos@gmail.com

Teléfono de contacto: +58 426 5742164

Facultad de Ingeniería

Centro de Microcomputación y Sistemas Distribuidos-CEMISID

Universidad de Los Andes

Mérida, Venezuela

Universidad EAFIT

Escuela de Administración, Finanzas e Instituto Tecnológico

GIDITIC (Grupo de Investigación, Desarrollo e Innovación

en Tecnologías de Información y Comunicación)

Medellín, Departamento de Antioquia, Colombia

Oswaldo Ramón Terán Villegas

<https://orcid.org/0000-0002-1490-5615>

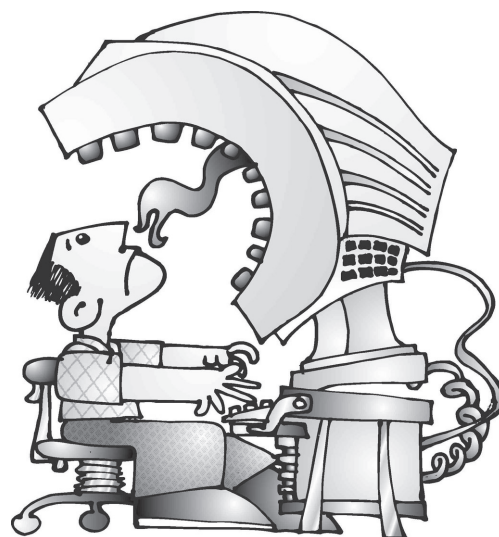
oswaldo.teran@ucn.cl

Teléfono de contacto: + 56 9 3396 4843

Escuela de Ciencias Empresariales

Universidad Católica del Norte

Coquimbo, Coquimbo (IV Región), Chile



Artículo recibido: 24/05/2020

Aceptado para publicación: 03/06/2020

Resumen

En los últimos meses la sociedad mundial se ha enfrentado a la pandemia COVID-19, la cual la ha impactado de manera importante. Este impacto ya ha producido cambios resaltantes en la forma de vida social (trabajo, diversión, etc.), y se espera que se incremente en los próximos meses, apoyado en las Tecnologías de la Información y Comunicación (TICs) (por ejemplo, en el Teletrabajo o compras a distancia). Por otro lado, se han desarrollado multitud de procedimientos y protocolos apoyados en herramientas de la Inteligencia Artificial (IA), orientados a evitar el contagio, detectar enfermos, controlar a la población en general, entre otras aplicaciones. Esos usos de la IA y de TICs han afectado la vida de las personas, tanto positiva como negativamente. El presente artículo primero revisa las herramientas de IA utilizadas para ayudar a controlar la pandemia, en especial los Modelos Computacionales desarrollados sobre la epidemia, así como diversos proyectos específicos en esta área; luego presenta un modelo del COVID-19 basado en Mapas Cognitivos Difusos Multicapa (una herramienta de la IA); y, finalmente, examina las perspectivas de la sociedad en diversos ámbitos ante el futuro avance de la pandemia y la aplicación intensiva de herramientas TIC en la vida social.

Palabras clave: Pandemia, COVID-19, Epidemiología, Inteligencia Artificial, Modelado y Simulación, Impacto de las TICs, Mapas Cognitivos Difusos.

Abstract

Recently, our society has faced the COVID-19 pandemic, which has significantly hit it. This impact has already highlighted changes in the social way of life (work, fun, etc.), and it is expected to increase in the coming months, supported by Information and Communication Technologies (ICTs) (e.g. for telework, or e-commerce). On the other hand, many procedures and protocols based on Artificial Intelligence (AI) have been developed aimed at preventing contagion, detecting the people infected with COVID-19, or controlling the population, among other applications. These utilizations of AI and ICTs have affected people's lives positive and negatively. This article first reports the AI tools used to help control the pandemic, specially Computational Models about the pandemic, as well as various projects in the area; then introduces a COVID-19 model based on Multilayer Fuzzy Cognitive Maps (an AI tool); and, finally, examines the perspectives of our society in various areas in the face of the future advancement of the pandemic and the intensive application of the ICTs in social life.

Keywords: Pandemic, COVID-19, Epidemiology, Artificial Intelligence, Computational Models, Impact of the ICTs, Fuzzy Cognitive Maps.

Author's translation.

Introducción

Un reciente estudio de la consultora McKinsey & Company indicó que, en el sector productivo de los países desarrollados, el uso de la Inteligencia Artificial (IA) se incrementó en un 25% durante el 2019, con respecto al año anterior (<https://www.mckinsey.com/>). La crisis sanitaria provocada por la COVID-19 ha impulsado su uso en todos los ámbitos de la sociedad. En este sentido, actualmente está apareciendo un importante número de nuevas aplicaciones basadas en la IA.

Particularmente, la IA ha venido apoyando directamente la lucha contra la pandemia del COVID-19 de diferentes maneras, las cuales se podrían agrupar como sigue: para el estudio del virus con el fin de encontrar fármacos y vacunas; en la gestión de la crisis sanitaria en el sector salud; y en la definición de políticas públicas. Así, hay proyectos directamente relacionados con la farmacología, la asistencia médica y hospitalaria, otros vinculados a la movilidad humana y gestión de la cuarentena, al análisis del impacto psico-social en la sociedad por el confinamiento, al modelado y simulación de la pandemia a fin de hacer estimaciones útiles para la toma de decisiones públicas, entre otros.

La mayoría de los proyectos en el área de IA sobre el COVID-19 están tratando de explotar todo el conocimiento y datos disponibles, por lo que se han venido basando principalmente en los paradigmas de ciencias de datos, aprendizaje automático y datos masivos, con el fin de estudiar y ayudar a salir de la actual crisis sanitaria mundial. La ayuda de la IA para aquellas personas que toman decisiones es crucial, ya que juega un papel muy relevante en la detección, diagnóstico, pronóstico, prescripción, entre otras cosas, sobre el riesgo de contagio, los planes de contingencia, la gestión y distribución de las ayudas económicas, los estudios para la creación de tratamientos, etc.

El poder de la IA se debe a su capacidad para analizar infinidad de variables y detectar interacciones entre ellas que son imperceptibles para el ser humano, permitiendo obtener resultados más precisos. En muchos países, estrategias para la detección de los contagiados, la gestión de las Unidades de Cuidados Intensivos (UCI), la gestión de la movilidad humana, entre otras, se han tomado sin el conocimiento suficiente del contexto (a ciegas). La IA es un aliado que ayuda a hacer esas tareas con mejor criterio.

Por otro lado, el COVID-19 también le ha planteado nuevos retos a la IA, ya que muchos de los actuales modelos no pueden prever de manera apropiada lo que no se ha producido nunca antes. Esos modelos proceden por inducción (es decir, por generalización), y solo pueden prevenir sobre la base de lo que ya ha sucedido. Por lo tanto, esa IA clásica no podía prever la pandemia como puede hacerlo con respecto al consumo de productos o al desarrollo de enfermedades conocidas. Eso plantea la necesidad de seguir avanzando en la definición de nuevas estrategias, bases teóricas, que le permitan a la IA avanzar, recrearse, y estar mejor preparada en el futuro para situaciones similares a la planteada por el COVID-19.

Por otro lado, la IA ya ha permitido analizar bastante bien otras epidemias, tales como dengue, malaria, cólera, paludismo, y chikungunya. El aprendizaje ganado con esta experiencia, y la información disponible derivada de los datos epidemiológicos de estos casos, ayuda no solo a entender la actual coyuntura, sino también a hacer inferencias futuras más precisas sobre el acontecer sanitario mundial. En todo caso, se requiere seguir avanzando teóricamente en otros esquemas de conocimiento, de modelado, etc., que permitan mejorar los estudios, y, en particular, construir modelos más precisos.

A futuro, nos confrontaremos a nuevos retos post-pandemia, referentes al impacto en la sociedad de la información acumulada, de las nuevas formas de comportamiento generadas, entre otras, surgiendo interrogantes como la siguiente: ¿Qué se hará con la gran cantidad de información de persona, grupos y familias acumulada? ¿Cómo serán usados los diferentes productos tecnológicos que se han utilizado para el control de la pande-

mia y de la población? (como el de seguimiento de las personas), ¿Cómo quedarán implantadas en la sociedad las tecnologías basadas en la IA actualmente usadas a raíz de la pandemia? (a nivel educativo, laboral, etc.)

En este trabajo haremos un análisis de algunos de estos aspectos. Inicialmente veremos qué se está haciendo alrededor del COVID-19 en IA, para continuar con la descripción más detallada de algunos de esos proyectos. A continuación presentaremos uno de estos proyectos: un mapa cognitivo difuso que analiza la propagación del COVID-19 desde el punto de vista de un proceso de razonamiento causal de las variables médicas, sociales y políticas que intervienen en dicho proceso, basado en una conceptualización del proceso. Al final, concluiremos con algunas ideas y reflexiones acerca de la pandemia del COVID-19 y las consecuencias sociales a futuro de este evento histórico.

1. Estado del arte en recolección de datos y modelado computacional en relación a la pandemia covid-19.

1.1. Base de Datos

Son muchas las bases de datos preparadas con diferentes tipos de información relacionada con el COVID-19: de pacientes, de terapias, del comportamiento del virus, entre otras. Algunas de ellas se están actualizando en tiempo real. A continuación daremos ejemplos de algunas bases de datos disponibles actualmente:

- Base de datos epidemiológicas del COVID-19. Entre esas bases de datos se tiene la del Center for Systems Science and Engineering de la Johns Hopkins University (JHU CCSE) (llamaremos a la base de datos CCSE). Este centro viene recopilando datos desde el 22 de enero de 2020 considerando varias fuentes, incluida la Organización Mundial de la Salud (OMS), la Comisión Nacional de Salud de la República Popular de China (NHC), el Departamento de Salud de Hong Kong, el Departamento de Salud del Gobierno de Australia, el Centro de Prevención y Control de Enfermedades Europeo (ECDC), entre otros entes. Estos datos son mantenidos en un repositorio de datos en github (Novel Coronavirus (COVID-19) Cases Data, (<http://bit.do/FFFY3>). Dicha base de datos incluye información de Provincia/Estado, País/Región, Última actualización, numero de Confirmados, Sospechosos, Recuperados y Muertes de cada país. Desde el 23/03/2020, la estructura de datos que usan son series temporales en formato csv, tales como:
time_series_Covid-19_confirmed_global.csv
time_series_Covid-19_deaths_global.csv
time_series_Covid-19_recovered_global.csv
- El proyecto Our World in Data (OWID) de la Universidad de Oxford, el cual tiene un repositorio donde lleva estadísticas sobre ese tema (<https://ourworldindata.org/>). A diferencia de los datos recopiladores en el CCSE), OWID pone los datos de casos, muertes, test y riesgo de mortalidad en contexto, con gráficos que establece relaciones entre países y regiones. Para ello, usa cifras recogidas por el ECDC y desde las fuentes oficiales por país. También plasma información de las medidas de los gobiernos, como cuarentena, cierre de escuelas y trabajo, suspensión de eventos públicos, entre otras cosas.
- El repositorio de datos Kaggle tiene varias bases de datos vinculadas al COVID-19, entre las cuales están (<http://bit.do/FFFY4>):
 - Base de datos con los factores de riesgo relacionados con COVID-19. La información que se tiene de los pacientes incluye datos relacionados con la vulnerabilidad de la población, tales como: si tiene hipertensión, si es diabético, el género, si tienen alguna cardiopatía, si es fumador, edad, si tiene enfermedad cerebrovascular, del sistema respiratorio, o renal crónica, si tiene sobrepeso u obesidad, si son bebedores, entre otros.
 - Base de datos con las características de los pacientes del COVID-19. Específicamente, entre la información guardada se tiene: duración de la eliminación viral después del inicio de la enfermedad, período de incubación en diferentes grupos de edad, proporción de pacientes asintomáticos, pacientes pediátricos

asintomáticos, historia del virus en una persona infectada, mediana de la duración de la eliminación del virus, entre otros.

- Base de datos sobre estudios de población relacionados con COVID-19. Específicamente tiene los siguientes atributos: modos de comunicación con poblaciones de alto riesgo (ancianos, trabajadores de la salud), manejo de pacientes que tienen un nivel socioeconómico bajo, infraestructura hospitalaria que han desplegado para prevenir los brotes y proteger pacientes no infectados, métodos para controlar la propagación en las comunidades, entre otros.

También, en este momento hay una alta producción científica sobre el COVID-19, por lo que se han creado repositorios de artículos científicos del tema, actualizados diariamente. A continuación, listamos un ejemplo de algunas de las publicaciones listadas en repositorios de publicaciones como publons, un sitio web que ofrece servicio gratuito para académicos que les permite registrar, buscar y seguir publicaciones científicas (<https://publons.com/publon/covid-19/>):

- “Preventing and Controlling Measures of 2019 Coronavirus Disease (COVID-19): Practice in Psychogeriatric Ward”, American Journal of Geriatric Psychiatry.
- “Bronchoscopy in COVID-19 Patients with Invasive Mechanical Ventilation: A Center Experience”, American Journal of Respiratory and Critical Care Medicine.
- Management of patients with COVID-19 in the medical ICU”, Cleveland Clinic Journal of Medicine.
- “Treating acute anxiety in patients with COVID-19”, Cleveland Clinic Journal of Medicine.
- “Prediction of the Development of Pulmonary Fibrosis Using Serial Thin-Section CT and Clinical Features in Patients Discharged after Treatment for COVID-19 Pneumonia”, Korean Journal of Radiology.
- “Impact of Cerebrovascular and Cardiovascular Diseases on Mortality and Severity of COVID-19 - Systematic Review, Meta-analysis, and Meta-regression”, Journal of Stroke and Cerebrovascular Diseases.
- “Effects of temperature variation and humidity on the death of COVID-19 in Wuhan”, China, Sci Total Environment.
- “Recommendations for Faculty and Expected Student Etiquette in an Online Environment During the Global COVID-19 Pandemic and Beyond”, Nurse Educator
- “Rapidly Progressive COVID-19 Pneumonia: What Radiologists Should Do”, Korean Journal of Radiology
- “Forecasting undetected COVID-19 cases in Small Island Developing States using Bayesian approach” BioRxiv
- “CT Diagnosis of Coronavirus Infection”, Current Medical Imaging Reviews
- “Correlation between PCR Examination Rate among the Population and the Containment of Pandemic of COVID-19”, BioRxiv
- “Delivering psychotherapy by video conference in the time of COVID-19: some considerations” Journal of Psychiatric and Mental Health Nursing

Como se puede ver en el listado anterior, la cual representa una muy pequeña muestra de los trabajos que se están publicando actualmente, hay una diversidad de artículos que analizan diferentes aspectos, unos más cercanos al ámbito médico, algunos usando técnicas de IA, entre otros. Particularmente, los vinculados a la IA son trabajos que buscan predecir comportamientos, diagnosticar situaciones de interés, establecer correlaciones entre pacientes, entre otros asuntos relevantes.

1.2. Modelado Computacional

Según la Organización Mundial de la Salud (OMS), hay cuatro factores fundamentales a considerar en una pandemia: caracterizar quien la causa; comprender las formas de transmisibilidad y las poblaciones de riesgo;

establecer el comportamiento de la infección (desde su incubación hasta la mortalidad); y elaborar modelos epidemiológicos que permiten definir los mecanismos de prevención, control, diagnóstico y tratamiento.

Los diferentes enfoques y técnicas de investigación de las distintas áreas de la IA pueden ayudar, y han efectivamente ayudado, en esas tareas. Con ellas, es posible construir modelos para ayudar a un diagnóstico y tratamiento más personalizado, de una manera precisa, en función de los síntomas de cada paciente, evitando procedimientos generales. Además, se pueden hacer estudios de escenarios, como, por ejemplo, para responder a interrogantes tales como: cómo pueden avanzar los contagios si no hay confinamiento; si hay ciertas restricciones de movilidad, o si hay confinamiento total; cómo los anteriores escenarios afectan al sistema sanitario (por ejemplo, en las ocupaciones de las camas de las UCIs, en el uso de respiradores), entre otras inquietudes.

A medida que se dispone de una gran cantidad de datos sobre los pacientes y el virus, este puede ser transformarlo en conocimiento útil para gestionar la enfermedad usando la IA. Un ejemplo de las posibles aplicaciones es la siguiente: usando la IA se podría concluir con bastante propiedad que en el caso de EE. UU, los sectores sociales más susceptibles de infectarse son las minorías (latina, negra). Esta correlación se puede obtener analizando múltiples factores, tales como: que para estar minorías no hay un sistema de salud que los proteja adecuadamente, sus estados de salud medio están más deteriorados con respecto al resto de sectores sociales, llevan a cabo los trabajos más arriesgados sin protección, hay algún elemento genético que influye, etc. En este tipo de estudios, el papel de la IA es fundamental, para lo cual ofrece diversos enfoques y herramientas útiles. Ese conocimiento podría ser usado por los trabajadores sanitarios, los epidemiólogos y virólogos, y los gobiernos, para ayudar a prevenir, diagnosticar y tratar el COVID-19, antes, durante y después de la epidemia. En el caso concreto del COVID-19, la IA está enfocándose a:

- **Acelerar la investigación.** Un ejemplo es el COVID-19 Open Research Dataset (<https://www.research.ibm.com/Covid-19/deep-search/>) de IBM, y las bases de datos DrugBank (<https://www.drugbank.ca/>), Clinicaltrials.gov (<https://clinicaltrials.gov>) y GenBank (<https://www.ncbi.nlm.nih.gov/genbank/>), con miles de documentos del COVID-19. Ellos usan la IA para procesar las consultas de los usuarios sobre el COVID-19. Otro ejemplo es a través de la simulación de procesos y ensayos clínicos, para hacer experimentos virtuales en física, química o biología, donde la compleja interacción entre átomos obliga a utilizar supercomputadores con una enorme capacidad de cálculo. Un ejemplo de esto es el COVID-19 High Performance Computing Consortium (<https://Covid-19-hpc-consortium.org/>), que tiene varios proyectos en esa área usando una capacidad de cálculo importante. Otro ejemplo es lo que viene haciendo DeepMind (<https://deepmind.com/>), que ha compartido resultados del uso de IA para detallar la estructura de seis proteínas vinculadas al SARS-CoV-2, el coronavirus que causa el COVID-19. Por otro lado, se está aplicando IA para descifrar el genoma del coronavirus, lo que va a ayudar a reducir de manera excepcional el tiempo para conseguir la tan esperada vacuna.
- **Analizar cómo evoluciona la pandemia.** Antes de manifestarse la epidemia, la IA detectó brotes de la enfermedad (dio alertas tempranas). En diciembre de 2019, el sistema BlueDot detectó que el coronavirus de Wuhan era una nueva cepa y cómo se propagaría en el mundo (<https://bluedot.global/>). BlueDot es una herramienta basada en la experiencia médica, con técnicas avanzadas de análisis de datos y razonamiento automático, que analiza información en redes sociales, para estudiar los riesgos de enfermedades infecciosas. En 2014, ya BlueDot había predicho seis meses antes, la llegada del virus Zika. Otros sistemas similares son Metabiota (<https://metabiota.com/>) o también HealthMap (<https://healthmap.org/es/>). Después de manifestarse, el aprendizaje automático se está usando para obtener modelos epidemiológicos que permitan definir estrategias de prevención, control, diagnóstico y tratamiento. Estos modelos se han podido construir usando datos de fuentes sanitarias, de movilidad (por ejemplo, usando los datos de los teléfonos), consumo de energía de viviendas, del transporte público, etc. El problema ha sido la no existencia de un Sistema Público de Gestión de Datos para el acceso a los mismos.
- **Crear nuevas estrategias, métodos y medicamentos o vacunas para el coronavirus.** Un ejemplo es la aplicación para la identificación de la presencia del coronavirus en enfermos llamada AlphaFold (AlphaFold,

2020), que realiza la predicción de la estructura 3D de proteínas que puede ser crucial en la creación de vacunas. También, la Universidad de Granada y el Hospital Universitario San Cecilio han creado un modelo de IA para saber si un paciente tiene coronavirus mediante el análisis por rayos-X de pacientes, parecido al producto DarwinAI (<https://www.darwinai.com/>), una red neuronal que puede buscar signos de infección por COVID-19 mediante rayos-X.

A continuación comentaremos otros ámbitos de aplicación actual en relación a la pandemia del COVID-19:

- **Detectar portadores de COVID-19**

La empresa DetectED-X lanzó un programa de IA gratuito en internet para mejorar el diagnóstico de la COVID-19, llamado CovED, que permite a los médicos una evaluación más eficiente de las tomografías de los pulmones de los pacientes (<https://www.detectedx.com/>). CovED ayuda a los médicos a mejorar el diagnóstico de la neumonía derivado del coronavirus. También, la empresa Alibaba ha desarrollado un sistema que puede detectar el coronavirus en tomografías computarizadas de pecho con una precisión del 96% (<https://www.alizila.com/>). El sistema es útil, tanto durante la emergencia como posteriormente, para detectar casos de contagio en 20 segundos; lo que permitirá disminuir la propagación si se adoptan estrategias de confinamiento.

- **Gestión hospitalaria**

Se están desarrollando aplicación para optimizar el uso de los recursos humanos y materiales disponibles. Estas aplicaciones buscan asignar los enfermos a los hospitales más adecuados, distribuir el material sanitario a los hospitales más necesitados en cada momento, entre otras cosas. También, se están usando robots en los hospitales para el traslado de medicamentos e información de forma segura, entre otros usos.

- **Rastrear a las personas**

Uno de los ámbitos donde más se está usando la IA es para contener la transmisión del virus, a través de la identificación de las personas con quién ha estado en contacto o se ha cruzado el paciente infectado. Países como China han desarrollado herramientas bastante robustas al respecto, pero se ha expandido a muchas regiones del mundo, tales como el sistema Safe Paths (<http://safepaths.mit.edu/>), desarrollada por el MIT en Estados Unidos, o Corona 100m en el caso de Corea del Sur. En todas ellas, las telecomunicaciones combinadas con la IA juegan un papel esencial. Las mismas están basadas en la IA y la geolocalización para analizar en un rango espacio-temporal la trayectoria de un individuo contagiado, para determinar con qué personas estuvo en contacto durante los días de incubación del virus. Para cada punto de contacto con otros de la trayectoria del individuo contagiado por coronavirus, se toma en cuenta, además de la cercanía entre ambos individuos, la duración del tiempo de exposición al virus. Así, para detectar a las personas bajo riesgo de contagio se ha usado conjuntamente datos de movilidad obtenidos de las operadoras de telefonía móvil y los obtenidos de forma colaborativa desde los mismos ciudadanos. Eso permite perfilar la movilidad de las personas contagiadas en ciertos días pasados (si ha viajado en transporte público, ha ido a comprar, etc.), para determinar con quién ha estado en contacto, para advertirle a tales contactos sobre la necesidad de realizarles test y así limitar la propagación del virus. Aunque en algunos países ha sido usado también para restringir la movilidad de los ciudadanos, cuando están contagiados (caso China). Otra herramienta desarrollada en China consiste en un sistema que identifica sin intervención humana a personas con temperaturas elevadas, e incluso reconoce si llevan la mascarilla puesta o no. Este sistema se puede aplicar en lugares concurridos como aeropuertos, estaciones de metro, etc.

- **Predecir los escenarios en el coronavirus**

Los modelos de datos de la IA que arrojan predicciones, diagnóstico, entre otras cosas, pueden ser usados con los modelos epidemiológicos SEIRD (población sospechosa, población enferma, población infectada, población recuperada y muertos), más matemáticos, que están siendo aplicados para conocer cómo evoluciona la pandemia. De esta forma, se puede llegar a mejorar la precisión de esos modelos que describen como se propaga la epidemia. Esos modelos se pueden enriquecer con la capacidad de los modelos de IA de

detectar anomalías (por ejemplo, un incremento anómalo de neumonías), clave para la detección temprana del comienzo de una epidemia.

También, la IA permite predecir escenarios a través de lo que se conoce como ‘digital twins’, para planificar y ensayar con antelación planes de contingencia para crisis sanitarias, combinándolo con modelos de información: epidemiológico, demográfico, sanitario, económico, etc. Otro uso de los modelos de predicción ha sido el hecho por la compañía Sherpa.ai para especificar las necesidades futuras de las UCIs por territorio, para los siguientes siete días, para ayudar a las autoridades sanitarias a preparar los recursos necesarios en cada momento (<https://sherpa.ai/>). Otros algoritmos de predicción se están realizando para previsión de nuevos casos, para determinar los equipos necesarios (mascarillas, respiradores, fármacos, etc.), para determinar la tendencia del virus, de infectados, de futuros focos, entre otras funcionalidades.

- Creación de Cercos sanitarios

También se pueden usar modelos de IA para la creación de mapas que sigan de cerca la propagación del virus en cada región. Esos mapas, además de ofrecer datos estadísticos básicos, como la tasa de mortalidad, la tasa de infección, etc., podrían incluir funcionalidades como la similitud entre comunidades, la predicción de necesidades, la prescripción de medidas de política pública, el diagnóstico de la situación local, entre otras cosas. Esto conlleva a modelos dinámicos, enriquecidos con el conocimiento arrojado por los modelos de conocimiento construido con la información local.

- Asistente de voz virtuales

Los chatbots son un software que utiliza IA para responder automáticamente mensajes de clientes. Tienen la capacidad de entender el lenguaje natural y responder preguntas, recibir quejas, e incluso hacer acciones transaccionales, como tomar pedidos, reestablecer contraseñas, o capturar información. Los chatbots tienen múltiples ventajas frente a los canales tradicionales de atención: la velocidad en la respuesta al cliente, la escalabilidad por la capacidad para atender muchos clientes simultáneamente, la disponibilidad 24/7, y la estandarización del servicio. Un chatbot responde a todo lo anterior, con un muy bajo costo. El confinamiento está acelerando la adopción de esta tecnología en el área médica. Los chatbots son una solución que permite de forma rápida implementar un medio de respuesta inmediato a los usuarios.

Un ejemplo de chatbot llamado Pegg fue desarrollado en la empresa Sage, el cual cuenta con más de 200 preguntas que recogen el 100% de las preguntas planteadas por los empleados en relación con la COVID-19, y el 96,7% de las respuestas (<https://www.sage.com>). El chatbot tiene la capacidad de ampliar y actualizar las respuestas conforme varíe la situación sobre la pandemia. También, la Autoridad de Innovación Gubernamental A.I.G. panameña ha puesto a disposición de los ciudadanos un chatbot basado en IA para diagnosticar y recomendar cuándo un paciente deba hacerse la prueba de Coronavirus, llamado R.O.S.A. (Respuesta Operativa de Salud Automática). ROSA es un bot que funciona con un número de Whatsapp para conversar con los ciudadanos e identificar aquellos casos que, según el protocolo definido por la OMS, deben ir a hacerse la prueba.

En general, los chatbots están permitiendo: evitar el congestionamiento de las instalaciones del sistema de salud y de los centros de atención; impedir que potenciales contagiados de COVID-19 pongan en riesgo a los pacientes que deben seguir asistiendo a su consulta médica; y mitigar el riesgo del contacto por infección a través de las superficies.

Para culminar esta sección, presentaremos una breve descripción de unos de los modelos matemáticos más usado para analizar el contagio del COVID-19, el SIR (Chen et al., 2020). Ese modelo trata de establecer la relación entre varias variables con la población de pacientes Susceptibles, Infectados, o Recuperados. El modelo más básico del SIR es el siguiente:

$$\frac{dS}{dt} = -\beta IS$$

$$\frac{dI}{dt} = \beta IS - \gamma I$$
$$\frac{dR}{dt} = \gamma I$$

Donde β es la tasa de transmisión, y γ^{-1} es el periodo de infección promedio. Además, $S(0) = 1 - r$, $I(0) = r$ y $R(0) = 0$; y r es la proporción de población enferma al inicio del estudio.

Estos modelos se han venido enriqueciendo con más variables a predecir, con E (expuesto) y D (muertos), como también con variables del contexto. Por ejemplo, se han propuesto modelos conceptuales para el brote de COVID-19 considerando la reacción conductual individual y las acciones gubernamentales, como las restricciones de viaje y la cuarentena obligatoria. Algunas de las gráficas que se pueden generar con el modelo son mostradas en la Fig. 1, que indica la evolución de esas variables en el tiempo en una población dada.

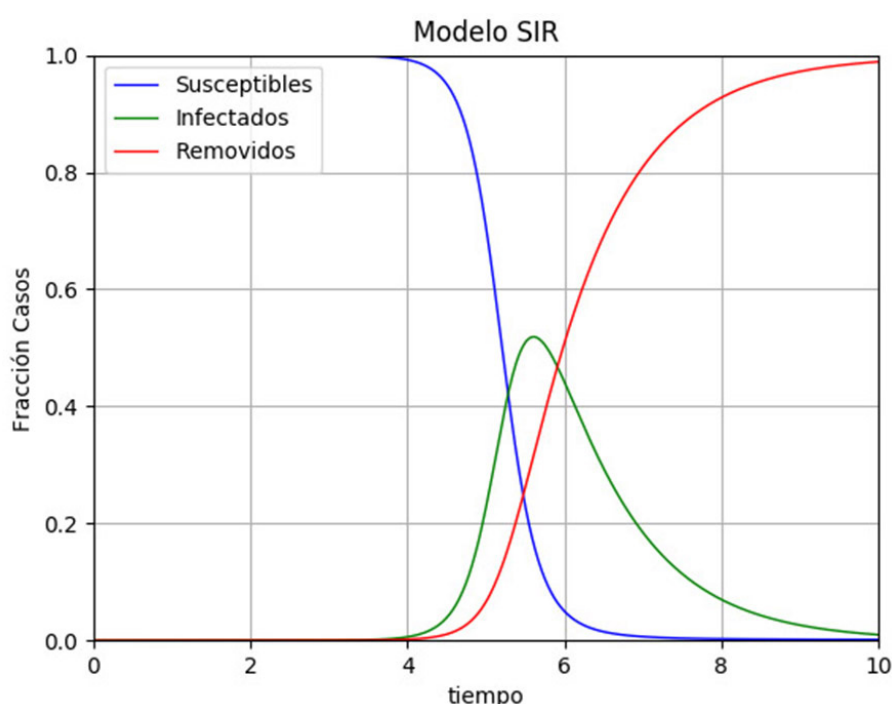


Fig. 1. Ejemplo de estimado de las variables S, I y Rm en un modelo SIR.

2. Trabajos de la red tepuy alrededor del COVID-19

En la red de investigadores TEPUY (Aguilar et al. 2017) se viene trabajando en varios modelos que están aplicando la IA de diferentes maneras.

- Extensión al modelo matemático SEIRD

Este trabajo busca extender los modelos SEIRD con más variables del contexto. Para ello, se han priorizados las variables que se pueden capturar o estimar del contexto (densidad poblacional, años promedio de los habitantes, número de camas UCIs, etc.). Las variables a estimar (predecir) serán realizadas a través de otras variables de las cuales dependen, las cuales son más fácil de obtener. Además, se está trabajando con su incorporación en los modelos SEIRD vía dos enfoques:

- A través de modelos basados en datos que descubran la relación entre las variables SEIRD y las nuevas variables a incorporar, a partir de un estudio inicial que indique con que variables están correlacionadas las variables SEIRD. En ese caso, se están buscando relaciones del tipo $S = f_1(\dots)$, $E = f_2(\dots)$, y así para el resto de variables del modelo SEIRD.

- A través de modelos de predicción que estimen las variables SEIRD bajo técnicas caja negra (realizan una predicción, sin indicar la relación matemática entre ellas).
- *Calibración de los modelos SEIRD.*

A los modelos SEIRD hay que calibrarlos para el entorno poblacional en el que usarán. Esa calibración se hace para sus parámetros β , γ , μ y α (estos dos últimos parámetros en los modelos SEIRD indican la tasa de emigración y la fuerza de las medidas gubernamentales, respectivamente), las cuales pueden hacerse depender del tiempo. En ese sentido, esos parámetros se pueden estimar construyendo modelos basados en datos, los cuales también pueden depender de las variables nuevas del contexto incorporadas al modelo.

- Mapa Cognitivo Difuso para el COVID-19

Este modelo busca conceptualizar la pandemia considerando la relación causal entre conceptos relacionados a aspectos sociales, médicos y políticos, para poder ser usado en procesos de inferencia automática. Esos conceptos son impactados por medidas que se tomen, por eventos que sucedan, entre otras cosas, y sus modificaciones por algunos de esos acontecimientos desencadenan un proceso de causalidad sobre los otros conceptos que indican el impacto en esos otros conceptos. Este modelo será descrito en la siguiente sección.

- Ontología para el COVID-19

Este proyecto busca desarrollar un modelo ontológico sobre el conocimiento existente del COVID-19, basándose en todas las taxonomías existentes sobre enfermedades infecciosas, alrededor de temas del virus, y en especial del COVID-19. A partir de allí, la ontología deberá realizar procesos de deducción para responder a consultas de usuarios, tal que, usando las relaciones axiomáticas en ese conocimiento, y el paradigma de datos enlazados en Internet, recupere toda la información disponible que responda a las consultas.

3. Ejemplo de especificación de un modelo descriptivo usando mapas cognitivos difusos

Los Mapas Cognitivos Difusos Multinivel (MCDM), los cuales representan una extensión de los Mapas Cognitivos Difusos (MCD), son una herramienta (al igual que los MCD) para representar el conocimiento desde una perspectiva cualitativa, lo que nos permite crear modelos de sistemas complejos donde no se puede utilizar un modelo matemático exacto debido a la complejidad del sistema (Aguilar 2005, 2013, 2016). Los MCDM se han aplicado en diferentes dominios, y son modelos basados en la representación de conceptos que describen los principales aspectos del sistema modelado (estados, variables o características del sistema) y las relaciones causales entre ellos, que pueden ser estáticas o dinámicas, difusas o no difusas (Aguilar 2005, 2013). Los dominios recientes de aplicación de MCD incluyen modelos de decisión para el tratamiento con radioterapia (Papageorgiou et. al, 2003), métodos de verificación de propiedades autoorganizadas y emergentes en sistemas complejos (Perozo et al., 2013), herramientas de diagnóstico para apoyar las decisiones médicas sobre el autismo en niños con diferentes características cognitivas (Puerto et al., 2019), supervisión de Sistemas Multiagentes en ambientes organizacionales (Aguilar, 2010), y la influencia de los medios en la opinión pública (Aguilar, 2016; Sánchez et al., 2019) (esta aplicación fue fundamentada en la conceptualización presentada en Aguilar y Terán (2015), y en Terán y Aguilar (2018)). La interacción entre las variables en nuestro modelo del COVID-19 es representada siguiendo el enfoque de MCDM. Como indicábamos, éstos representan una extensión de los Mapas Cognitivos Difusos (MCD), teniendo una capacidad más alta y flexible para representar situaciones complejas, lo que nos permite caracterizar diferentes aspectos del sistema real modelado (por ejemplo, niveles de sistemas), y su interacción, donde cada nivel es representado como un ámbito particular con sus propias variables. Los niveles interactúan entre sí, a la vez que las variables internas de cada nivel también se relacionan unas con otras, para constituir así un modelo holístico del fenómeno de estudio.

Nuestro modelo MCDM del COVID-19 presenta cinco niveles conceptuales que comprenden de manera holística los diversos ámbitos relacionados con la pandemia del Coronavirus, a saber: Entorno natural, Comportamiento humano, Sistema de Salud Pública, Contexto político, y un nivel donde se definen las variables de salida del modelo (lo que infiere), lo que envuelve: variables relacionadas con el contagio (por ejemplo, número de infectados) y requerimientos de Unidades de Cuidados Intensivos (UCI).

El Entorno natural presenta diversos elementos que influyen en la propagación de la epidemia, como la densidad poblacional y la temperatura de la zona. Como sabemos, elevada densidad poblacional y baja temperatura ambiental contribuyen a aumentar la prevalencia del virus, el primero aumentando la probabilidad de contagio y la cantidad de personas expuestas, y la segunda incrementando el tiempo de vida del virus en el ambiente. De la misma forma, en el nivel o ámbito de comportamiento humano diversas variables contribuyen a aumentar o disminuir el nivel de la pandemia, como, por ejemplo, la solidaridad social para cumplir el confinamiento, ayudar a otros, etc., o el control del confinamiento, cuyo incremento contribuye a disminuir la pandemia. De igual forma, otros actores o variables son identificados en los restantes ámbitos; por ejemplo, contribuyen a disminuir la pandemia: el aumento de la variable “Capacidad del sistema de salud”, perteneciente al ámbito “Sistema de Salud”, y la variable “Capacidad del Estado para tomar y aplicar buenas decisiones” del ámbito “Contexto político”. La próxima sección (3.1.) presenta las variables contenidas en cada uno de estos niveles, y la sub-siguiente sección (3.2.) presenta las relaciones entre las variables, así como los valores de las variables para cuatro escenarios o casos: Venezuela, Chile, Ecuador y Colombia.

3.1. Descripción del Modelado Computacional

Como se dijo antes, se han definido cinco ámbitos del modelado. De manera holística se han tomado en cuenta los diversos asuntos relacionados con la propagación de la pandemia. Los ámbitos tomados en cuenta: Entorno natural, Comportamiento humano, Sistema de salud pública, Contexto político, y finalmente, un ámbito para inferir salidas de interés. Las variables de cada ámbito fueron definidas desde el análisis de diversas fuentes, incluyendo documentos, declaraciones, entrevistas, videos, etc. (Woo-joo, 2020; Petro, 2020; Kamps y Hoffmann, 2020; Russia Today (2020); Walker y otros 2020; entre otros). Cada uno de estos ámbitos incluye las siguientes variables (entre paréntesis se indicará el nombre o código de la variable):

i. Entorno natural (4 variables)

- Índice de Ruralidad (C11). Representa una medida de la proporción de población viviendo en zonas rurales, en relación al total poblacional que incluye población rural más población urbana.
- Densidad poblacional (C12). Representa una medida de la cantidad de personas de una nación, en relación al tamaño territorial de la nación.
- Humedad (C13). Indica una medida del promedio de humedad ambiental en la nación o área poblacional del modelo.
- Temperatura (C14). Indica una medida de la temperatura promedio de la nación. En los países tropicales su valor será alto, disminuyendo a medida que la nación se aleja del ecuador terrestre.

ii. Comportamiento humano (7 variables)

- Fuerza del confinamiento observado (C21). Grado de la declaración gubernamental de confinamiento, actualizada con el verdadero confinamiento observado.
- Control del confinamiento (C22). Seguimiento y re-aplicación del confinamiento. Incluye el confinamiento en el hogar, en los hospitales, el uso de máscaras faciales epidémicas y su disponibilidad en el mercado, el respeto de la distancia mínima entre las personas en las zonas públicas, etc.
- Proporción de personas vulnerables (C23). Se refiere a la proporción de la población vulnerable debido a problemas de salud o la edad, vs. total poblacional.
- Solidaridad social (C24). Interés de la población en el bienestar público y no violación de las normas.
- Higiene y protección en el hogar (C25). Medidas en casa para limpiar la ropa, la comida y todo lo que viene del exterior de la casa.

- Pobreza y escasez de bienes básicos (C26). Incluye la falta de disponibilidad de alimentos. Esto está relacionado con la pobreza en general, y con el apoyo del gobierno o las empresas para aumentar la disponibilidad de alimentos.
- Movimiento en el país (C27). Capacidad de movimiento dada por la existencia de combustible, y las limitaciones implementadas por el gobierno.

iii. Sistema de salud (4 variables)

- Capacidad del sistema de salud (C31). Capacidad de los sistemas de salud público y privado, incluyendo el número de médicos y enfermeras disponibles en el país.
- Protección ofrecida a médicos y enfermeros (C32). Indica el grado en que los médicos disponen para su uso de equipos de protección de todo tipo requerido según la OMS.
- Unidades de Cuidados Intensivos (UCI) (C33). Esta medida está dada por el número de UCIs por cada 100.000 habitantes.
- Protocolo para personas que tienen COVID-19 o están bajo sospecha de estar infectados (C34). Se refiere al confinamiento y otras medidas implementadas para aislar a los contagiados, posibles contagiados, asintomáticas, etc. Por ejemplo, algunos países como China o Corea del Sur establecen protocolos muy estrictos, incluso para quienes son sospechosos de estar contagiados, por lo que esta variable toma un valor muy alto o alto, mientras que muchos países occidentales mantienen un protocolo mucho más relajado, que podríamos clasificar como medio.

iv. Contexto político (3 variables)

- Confianza en las políticas sanitarias del gobierno y entes del estado (C41). Indica la confianza de la población respecto a los lineamientos, estrategias y actividades del gobierno, y otros entes públicos, para controlar la pandemia.
- Capacidad del Estado para tomar y aplicar buenas decisiones (C42). Indica la capacidad del estado, basada en la virtuosidad de los funcionarios, en la información que usan, así como en lo apropiado de los criterios, a fin de reducir la pandemia.
- Asistencia internacional (C43). Se refiere al apoyo recibido desde organismos internacionales, como la OMS o la ONU, y desde otros gobiernos.

v. Salidas de interés (5 variables) (estas variables son las inferidas por el modelo, y se explican por sí solas)

- Aumento del número de personas infectadas (C51).
- Requisitos de la UCI (C52).
- Número total de muertos (C53).
- Número total de infectados (C54).
- Número total de asintomáticos (C55).
- El grado y sentido de interacción entre estas variables, obtenido de consulta a experto, se presenta en la siguiente sección.

3.2. Relaciones y Escenarios

Las relaciones han sido obtenidas de la consulta a varios expertos y son mostradas en la Tabla 1: las filas indican la variable que genera el impacto, y las columnas señalan las variables que reciben el impacto. Allí se puede observar cuáles relaciones tienen un gran impacto en la pandemia, como la densidad poblacional, la movilidad, el confinamiento, o el protocolo aplicado en la región o país (variables: C12, C21-C22, C27, y C34). Las relaciones tienen dos elementos: i) el nivel de influencia o impacto de una variable sobre la otra, el cual toma valores entre 0 y 1; b) el sentido de tal impacto, el cual puede ser positivo (+), o negativo (-). En ese sentido, los dos valores extremos son:

- 1 si ese concepto está bien desarrollado
- 0 si ese concepto no está desarrollado.



Las variables se pueden pensar de manera cuantitativa en el intervalo indicado $[0,1]$, o asignándole valores cualitativos: Bajo, Medio o Alto, como se hace en la Tabla 1. En la Tabla 1, se considera que los valores entre 0 y $1/3$ corresponden a Bajo, entre $1/3$ y $2/3$ a Medio, y mayores a $2/3$ a Alto.

A mayor valor del impacto de un concepto X sobre otro Y, mayor será el cambio que genera X sobre Y (el peso de la relación subirá). Si el sentido de la relación entre el concepto X de una fila y el concepto Y de una columna es positivo, entonces el aumento (equivalentemente disminución) de X impacta en el mismo sentido, aumentando (equivalentemente disminuyendo) el valor del concepto Y. Por el contrario, si el sentido de la relación es negativo, entonces la influencia es a la inversa: el aumento de X genera disminución de Y, y la disminución de X implica aumento de Y.

Respecto a los escenarios o casos a ser considerados, se espera modelar a diferentes países (Venezuela, Chile, Colombia, Costa Rica, USA, Nueva Zelanda, Italia, España, Suecia, China, Corea del Sur, Vietnam, entre otros) y ciudades (Quito, Medellín, Mérida, Loja, entre otras). Hasta ahora se ha logrado tener los escenarios para Venezuela, Chile, Ecuador y Colombia, como se puede apreciar en la Tabla 2. La simulación de los casos es parte del trabajo futuro.

La Tabla 2 muestra ciertas diferencias entre los países, como, por ejemplo, la fuerte restricción de la movilidad en Venezuela (debido principalmente a la carencia de combustible) respecto a los otros países (C27), la gran vulnerabilidad de la población (C23) venezolana respecto a la de otras naciones, el deterioro del sistema de salud venezolano respecto al de los otros países (las variables del nivel 3: C31-C33). El primer factor juega a favor del control de la pandemia en Venezuela, respecto a las otras naciones, mientras que los demás factores favorecen una mayor tasa de mortalidad en Venezuela, respecto a los otros países de la región latinoamericana incluidos en la tabla. Se nota el gran impacto del primer factor mencionado, C27, en las variables de salida del nivel 5, dado el bajo número de contagiados en Venezuela, cuándo lo comparamos con los otros países de la Tabla 1. Este número bajo de contagiados ha evitado hasta ahora la elevada mortalidad.

Tabla 1. Relaciones entre los conceptos. Se presenta el impacto (Nivel Alto (A), Medio (M), o Bajo (B)), y el sentido de la misma (positivo (+), o negativo (-))

	C11	C12	C13	C14	C21	C22	C23	C24	C25	C26	C27	C31	C32	C33	C34	C41	C42	C43	C51	C52	C53	C54	C55
C11		-M			-M	-M	-M	+A	-M	-M		+M	+M						-M	-M	-M	-M	-M
C12	-A			+A	-M	-A	+A	-M	+M	+M		-A	-A						+A	+A	+A	+A	+A
C13																			+M	+M	+M	+M	+M
C14																			-M	-M	-M	-M	-M
C21							-M	+M	+M		-A				+A	+A	+A		-M	-M	-M	-M	-M
C22					+A		-M	+M	+M		-A				+A	+A	+A		-M	-M	-M	-M	M-
C23												+M	+M					+B	+M	+M	+M	+M	+M
C24					+A	+A	+M		+A		-A	-M	-M						-M	-M	-M	-M	-M
C25												-M	-M				+A		-M	-M	-M	-M	-M
C26					-M	-M			-B		+A					-A	-M	+A	+M	+M	+M	+M	+M
C27					-A	-A	+A		-M						-A	-M	-A		+M	+M	+M	+M	+M
C31						+M	-M						+A	+A	+A	+A	+A		-M	-M	-M	-M	-M
C32												+M			+A	+M			-M	-M	-M	-M	-M
C33												+M			+A	+B			-M	-M	-M	-M	-M
C34					+A	+A	-M	+B	+B		-A	+B	+B			+A	+M		-M	-M	-M	-M	-M
C41					+A	+A	-M	+A	+M	-B	-M	+M	+M	+M	+B		+A	+B	-M	-M	-M	-M	-M
C42					+A	+A		+M	+B	-A	-A	+A	+M	+A	+A	+A		+B	-M	-M	-M	-M	-M
C43										-B		+M	+B	+B	+B	+B	+M		-M	-M	-M	-M	-M

Tabla 2. Escenarios. Los valores de los conceptos fueron ofrecidos numéricamente por parte de los expertos para comparar con la la predicción del modelo (conceptos C5X) con lo dicho por los expertos para los escenarios descritos por los conceptos desde C1X a C4X

	C11	C12	C13	C14	C21	C22	C23	C24	C25	C26	C27	C31	C32	C33	C34	C41	C42	C43	C51	C52	C53	C54	C55
Venezuela	0,3	0,4	0	0,8	0,73	0,6	0,8	0,45	0,4	0,9	0,05	0,05	0,1	0	0,3	0,2	0,2	0,4	0,1	0	0,1	0,1	0,1
Chile	0,1	0,3	0,5	0,3	0,4	0,4	0,4	0,2	0,4	0,7	0,6	0,5	0,6	0,3	0,2	0,3	0,2	0,1	1	1	0,5	1	0,6
Ecuador	0,7	0,7	0,5	0,5	0,8	0,4	0,4	0,3	0,2	0,4	0,4	0,5	0,2	0,3	0,1	0,4	0,3	0,6	1	0,7	.8	.8	.8
Colombia	0,2	0,6	0,5	0,5	0,4	0,8	0,5	0,6	0,4	0,6	0,2	0,5	0,4	0,3	0,5	0,7	0,7	0,2	0,5	0,7	.5	.5	.5

4. Perspectivas de la sociedad por el efecto TIC en la gestión de la pandemia

Acá presentaremos muy rápidamente, nuestras apreciaciones sobre el efecto conjugado de las TIC y pandemia en la sociedad, actualmente y en el futuro.

4.1. Sector productivo

La manera más visible como las TIC y la pandemia han impactado a este sector es con la implantación del teletrabajo. El teletrabajo es la organización que se realiza para el desarrollo de actividades laborales, con la utilización de las TICs, en el hogar. El teletrabajo se está usando obligatoriamente en los siguientes casos: 1) para quienes hayan estado en contacto con pacientes diagnosticados con COVID-19. 2) para aquellos trabajadores que presenten síntomas leves y moderados 3) para aquellos trabajadores que hayan llegado de un país con incidencia en COVID-19.

Eso está implicando que las organizaciones definan las actividades susceptibles de teletrabajo y/o trabajo remoto. También implica para el trabajador un compromiso incluso mayor de disciplina y responsabilidad con los deberes asignados, ya que el teletrabajo amerita igualmente el cumplimiento de una jornada laboral, la cual se debe diferenciar del tiempo familiar, y una buena comunicación y planificación con sus jefes y subordinados, con estrategias para acordar fechas y mecanismos para entregar informes, desarrollar ámbitos de retro-alimentación, responder oportunamente, entre otras cosas. Ahora, siempre será importante considerar que:

- No todos los puestos de trabajo pueden aplicar a la modalidad de teletrabajo.
- La personalidad de los trabajadores es diferente, y su productividad con el trabajo remoto puede mejorar o empeorar.
- En términos de costos operativos, para la empresa es ventajoso, pero para el empleado podría no serlo (por los gastos en servicios en el hogar, por ejemplo).

Con estos puntos sobre la mesa y que el COVID-19 ha obligado a muchas empresas a adoptar la modalidad de teletrabajo, queda el debate abierto sobre si es buena idea implementar de alguna forma esta modalidad de trabajo en las organizaciones de manera permanente.

Otro frente en donde se está viviendo más fuertemente el impacto es en el comercio, en donde de manera súbita se han cerrado los canales tradicionales de compra. Al convertirse en la única opción disponible para comprar la mayoría de productos y servicios. El e-commerce está tomando un mayor protagonismo, eliminando aceleradamente las barreras que se tienen actualmente para comprar por internet. El problema es que la mayoría de las empresas no estaban preparadas para atender la totalidad de sus clientes de manera digital. La IA cobra valor en este ámbito, por múltiples soluciones que puede aportar.

Ahora bien, en general, la transformación digital de las organizaciones será más rápida; con más automatización e IA para adaptarse, las cadenas de suministro serán más cortas, más resistentes, y posiblemente más locales.

4.2. Gestión de gobierno

Muchas decisiones públicas se están tomando a partir de lo que evidencian los datos. Por ejemplo, para analizar la movilidad durante la pandemia del COVID-19 y su efecto, se está modelando la movilidad humana para cuantificar y medir cuál es el impacto de ella en la pandemia, como también conocer qué tipos de movilidad se pueden considerar. En particular, los modelos epidemiológicos SEIRD están siendo enriquecidos con estos modelos de movilidad. De esta forma, se puede llegar a cuantificar cómo la movilidad, y a qué velocidad, la propagación de la epidemia puede afectar a cierta población.

También, un ámbito natural en que los datos deben ser usados en el futuro es el sistema sanitario. Todo lo que se ha venido desarrollando para estimar las necesidades de médicos, material especializado, camas, a partir de los modelos de contagiado, debe ser generalizado por el sistema de salud, para su gestión futura (características de las UCIs, número de médicos requeridos con que especialidades, etc.). Por otro lado, los procesos de personalización del plan de cuidado y su seguimiento, desarrollados para el COVID-19, deberían ser usados en el futuro para definir la política pública para mejorar la asistencia médica de los hospitales. Estos son algunos de los ejemplos de los posibles usos futuros de las herramientas que actualmente se están usando para el COVID-19.

4.3. Sociedad

El mundo ha sufrido importantes cambios en ciertos momentos, y ahora lo está haciendo nuevamente, obligándonos a adaptarnos a un estilo de vida sin precedentes. En particular, la sociedad será aún más dependiendo de las tecnologías. Las plataformas digitales se han convertido en la **única** forma de comunicación, ya sea para trabajar, ponernos en forma, educarnos, mantenernos en familia o entretenernos. Es un gran cambio cultural que solo sucedió en pocas semanas, y parece poco probable que desaparezca de la noche a la mañana. Eso está influyendo en la forma como compramos (se ha masificado el comercio electrónico), como trabajamos, como nos divertimos, etc. También, el trabajo en la casa podría hacer que la hora pico o punta pase a la historia, lo que podría afectar los valores de las propiedades en las “ciudades de cercanías”. El personal también exigirá más de los empleadores en términos de flexibilidad, en el trabajo.

Por otro lado, algunas aerolíneas podrían no sobrevivir esta crisis o saldrán debilitadas. Habrá, por lo menos a mediano plazo, menos vuelos. Esa tendencia estará, además, impulsada por las personas y los negocios que tendrán menos dinero y por el auge de las videoconferencias. Después de la pandemia, viajar también generará más nerviosismo, al menos inicialmente, por lo que el número de personas en los trenes, metros y tranvías probablemente será menor que los niveles previos a la crisis. Los modos independientes y ecológicos de transporte, como la bicicleta y las patinetas motorizadas, se volverán más populares. Todo esto hará más costoso los traslados.

A su vez, los dispositivos que toman la temperatura serán comunes en aeropuerto, en muchos comercios, para entrar a muchos eventos, entre otros ámbitos. Por su parte, en el futuro, el distanciamiento social será un enorme dolor de cabeza para las instituciones que rigen los deportes. La monetización de la experiencia digital pasará a tener un rol fundamental en el negocio del deporte. Esa experiencia digital del fanático esta por desarrollarse, es un mundo nuevo dentro de los productos comerciales del deporte. Eso también repercutirá en las salas de cine, los teatros, salas de concierto, museos y galerías. Además, estos

últimos, serán afectados por la gran cantidad de contenido de arte gratis que ha estado a disposición durante el confinamiento.

Se dice que el confinamiento ha desatado una emanación de vecindad que no sabemos hacia donde fluirá después de que se levante la orden. Nuestra vida suspendida en confinamiento, sin embargo, podría estar incubando una queja que, cuando sea liberada, podría desatar enérgicos cuestionamientos, dedos acusatorios y demandas de represalia. Las dificultades económicas pondrán presión a los vínculos sociales. Nuestras formas de comportamiento habrán quedado infectadas por la angustia y la adversidad, y quizás emergeremos más egoístas y menos unidos. La esperanza debe ser que nuestra sociedad, igual que un virus, esté mutando en algo más fuerte, más bueno.

Por otro lado, la pandemia ha demostrado, una vez más, que las cuestiones globales requieren soluciones globales. También ha demostrado que las primeras reacciones de los gobiernos han sido de tipo nacional. A los organismos multilaterales les ha ido mal. La UE pidió disculpas a Italia por no prestarle suficiente apoyo, y el presidente Trump atacó a la OMS, según él, por ser demasiado cercana a Pekín.

Habrà mucho menos dinero en los presupuestos militares para nuevos y relucientes armamento, tras la redefinición de la seguridad debido a la extraordinaria debilidad revelada por la pandemia. La capacidad de la seguridad nacional será juzgada por el aprovisionamiento de equipo médico y la preparación para la próxima pandemia o catástrofe ambiental, no sólo por cuántas brigadas de tanques se puedan desplazar, que de poco han servido durante la pandemia. También, una tarea pendiente será el papel protagónico que las sociedades le darán a las investigaciones, lo que impulsará o no las fuentes de financiamiento para ese sector.

4.4. Otros ámbitos de una ciudad: educación, salud

La conectividad digital está tomando una mayor relevancia en los hábitos cotidianos de las personas, evidenciado ya en países como Italia, Francia y Estados Unidos, en los que la pandemia del COVID-19 ha tenido un mayor avance. Eso debe impactar al sector sanitario, con un desarrollo inusitado de la telemedicina, algo olvidado durante esta década. Pero el sistema de salud requiere algo más integrado, donde también la robótica, la virtualización, la atención a distancia sean los nuevos valores a desarrollar.

A su vez, más de 90% de los niños del planeta no está en clases, según la UNESCO. Esa interrupción tendrá secuelas durante años. La enseñanza se ha trasladado a sistemas online, con clases virtuales a una escala jamás vista, pero eso ha resaltado la preocupación de que la pobreza digital está marginando a algunos niños. Las universidades enfrentan otros desafíos. La virtualización empezará a jugar un rol importante, el deseo de estudiar lejos de la familia no será tan fuerte como antes. Investigaciones en países como el Reino Unido, que dependen altamente de estudiantes extranjeros, señalan que la combinación de la inmediata caída en la asistencia de estudiantes internacionales este año y la decisión de estudiantes británicos de posponer o ni siquiera inscribirse en la universidad podría costarle a las instituciones unos US\$3.130 millones y 30.000 empleos. Deben pensar en enfoques de virtualización para sostenerse.

Conclusión

Ante la incertidumbre que vivimos, una gran inquietud se refiere a cuándo vamos a volver a la normalidad que vivíamos antes de la pandemia, cuánto durará la estabilidad que logremos, y si debemos prepararnos para otras oleadas o nuevos contagios de coronavirus u otras epidemias. Nadie tiene la respuesta definitiva, pero gracias al análisis de datos podemos tener algunas respuestas parciales que contribuyen a disminuir la incertidumbre. Un conocimiento útil para afrontar futuras crisis similares.

En general, las fuentes de datos sobre la actividad ciudadana que pueden ayudar a comprender mejor qué está sucediendo a raíz del COVID-19 se encuentran en el plano de la movilidad o el consumo, información que, en el mundo occidental, pertenece frecuentemente a empresas privadas, y no al gobierno. En países como China ello es diferente. Surge la inquietud: ¿Quién debería ser el propietario de los datos?, ¿Cómo afectan la privacidad de la gente? Se hace necesario un gran debate, ya que muchas veces se hace con los datos lo que se

quiere, ya sea por los entes privados o por algunos estados nacionales. Nos preguntamos, entonces, ¿Cómo hacer para aumentar la transparencia de su uso?. Esto es un reto social.

Otro reto se refiere a cómo usar la tecnología para prepararse digitalmente para futuras epidemias. Existen casos ejemplares, como el de Corea del Sur, donde al momento de llegar el coronavirus ya se tenía preparada la infraestructura que muchos otros países aún no tienen, para enfrentarlo de forma eficiente. Dicha infraestructura ha jugado un papel clave para ayudarle a la nación coreana a mantener a raya la propagación de la enfermedad. También hay que abordar temas como la recuperación económica tras la pandemia, donde sectores como el transporte, el turismo o la venta minorista han sido terriblemente impactados. También se ha hecho importante el desarrollo de estrategias para habilitar y mantener lugares de trabajo híbridos -hogar y entornos de empresa-, tras la experiencia que se está viviendo. Todos estos temas son susceptibles de ser analizados utilizando herramientas de IA, con el fin de buscar fórmulas eficientes y de calidad.

Una infinidad de otras cuestiones permanecen abiertas: determinar la influencia de las patologías previas, de la edad, del sexo, del grupo sanguíneo, de las vacunas anteriores, del tabaquismo, etc. Todo esto requiere un análisis minucioso, que necesariamente abarcará enormes cantidades de datos. Pero en este terreno hará siempre falta una reflexión humana para discernir las correlaciones no causales, para evaluar la eficacia de los tratamientos, etc. Quedan grandes preguntas **¿Por qué, en el plano internacional, los países pobres** – donde el confinamiento parece imposible y el sistema sanitario es deficiente – resultan por lo general ser los menos afectados? ¿La juventud de la población y la ausencia de estadísticas fiables son explicaciones suficientes? Por otro lado, en los países desarrollados los sectores más pobres y marginados han sido los más afectados.

La IA puede ayudar a reflexionar sobre mucha de las anteriores inquietudes. Pero su uso también plantea dudas, dado el papel ambiguo que puede desempeñar la IA, por ejemplo, podría ser utilizada para el rastreo o seguimiento policial o por organismos de inteligencia de dudosa credibilidad. Otra duda es si la tecnología desarrollada que permite el rastreo del contagio se dejará de usar o no una vez finalizada la pandemia ¿Quién apuesta por la confidencialidad del tratamiento de los datos?

La gestión de la crisis sanitaria ha revelado las fuerzas y flaquezas de la IA. No obstante, no cabe duda de que gracias a su explotación inteligente podremos disponer de unos tiempos de neutralización, del virus COVID-19, bastante más cortos que en los casos de la viruela, la fiebre amarilla, la rubeola o la poliomielitis. Pero se debe garantizar el uso ético de la IA, para que esté al servicio de las personas, de salvar vidas, o por lo menos mitigar los daños. La IA está sirviendo en cada una de las fases de esta pandemia, y está demostrando ser crucial en la lucha contra el virus. Prueba de ello son los grandes avances que se están haciendo en el diagnóstico (Alibaba), o a la hora de identificar y prevenir futuros brotes (BlueDot), o para predecir el riesgo de contagio (U-Tool). Sin embargo, estos sistemas despiertan dudas sobre el cumplimiento de la “Ley de Protección de Datos”, dado el control por parte del gobierno/empresas sobre los ciudadanos que supone su uso. Por ello, adoptar una solución pragmática que se centre en lo que sea necesario para la salud pública es lo que procede en un momento tan crítico como el que vivimos. Esto va a suponer un antes y un después en cuanto al tratamiento de datos personales, que implicará entrar en algunos momentos, sobre todo una vez controlada la pandemia, en diálogos y acuerdos de tipo ético y legal.

El presente trabajo también ha presentado un modelo como ejemplo de aplicación de la IA al estudio de la pandemia: un Mapa Cognitivo Difuso Multinivel del COVID-19, que representa factores de la pandemia en los siguientes cinco niveles o ámbitos: Entorno natural, Comportamiento humano, Sistema de Salud Pública, Contexto político, y un nivel donde se definen las variables inferidas del modelo, lo que envuelve: variables relacionadas con el contagio (por ejemplo, número de infectados) y requerimientos de Unidades de Cuidados Intensivos (UCI). A través de la consulta a expertos se determinaron las relaciones entre las variables de los niveles, así como algunos escenarios del modelo, definidos por los valores de los conceptos para varios países latinoamericanos (Venezuela, Colombia, Ecuador y Chile). Las relaciones entre las variables permiten determinar de manera preliminar cuáles relaciones tienen mayor impacto en la pandemia, resultando entre ellas la densidad poblacional, movilidad poblacional, el confinamiento, y el protocolo aplicado en la región o país. Los escenarios muestran ciertas diferencias importantes entre los países, como, por ejemplo, la fuerte restric-

ción de la movilidad en Venezuela (debido a la carencia de combustible), la gran vulnerabilidad de la población venezolana, y el deterioro del sistema de salud venezolano, respecto al de los otros países. Esto permite también cierto análisis preliminar: El primer factor juega a favor del control de la pandemia en Venezuela, respecto a las otras naciones, mientras que los demás factores favorecen una mayor tasa de mortalidad en Venezuela si la población afectada creciese, respecto a los otros países de la región latinoamericana modelados. Se nota el gran impacto del primer factor mencionado en las variables de salida del nivel 5, dado el bajo número de contagiados en Venezuela, cuándo lo comparamos con los otros países. Este número bajo de contagiados ha evitado hasta ahora la elevada mortalidad. A futuro, este mapa cognitivo difuso será aplicado a varios países (los incluidos acá y varios otros como China, Corea del Sur, Italia, EE UU., Suecia, etc.) y ciudades, para un análisis más profundo de los factores más importantes para el control de la pandemia COVID-19, los cuales serán presentados en próximos reportes y artículos de investigación.

Finalmente, la amenaza del COVID-19 está haciendo aflorar lo mejor de la humanidad. Si miramos la enorme cantidad de instituciones, equipos de investigación o mecenas que están poniendo ciencia, alma, corazón y financiación para luchar contra la pandemia en todos los rincones del mundo, nos tenemos que sentir orgullosos y emocionados por lo que somos capaces de hacer entre todos; y la IA está jugando un papel fundamental en ello.®

Jose Aguilar. Ingeniero de Sistemas de la Universidad de los Andes-Mérida-Venezuela, Maestría en Informática en la Universidad Paul Sabatier-Toulouse-France, y Doctorado en Ciencias Computacionales en la Universidad Rene Descartes-Paris-France. Postdoctorado en el Departamento de Ciencias de la Computación de la Universidad de Houston, y estadía de investigación postdoctoral en el Laboratoire d'Automatique et Analyses de Systemes-CNRS, Toulouse-France. Profesor Titular del Departamento de Computación de la Universidad de los Andes e investigador del Centro de Microcomputación y Sistemas Distribuidos (CEMISID) de la misma Universidad. Es miembro de la Academia de Mérida y del Comité Técnico Internacional de la IEEE en Redes Neuronales. Actualmente es profesor contratado en la Universidad EAFIT, Colombia.

Oswaldo Terán. Ingeniero de Sistemas y M.Sc. en Estadística Aplicada y Computación en la Universidad de Los Andes, Venezuela; Ph.D en Modelado Computacional en la universidad Manchester Metropolitan University, Manchester, Reino Unido; Post-Doctorado en el Proyecto EMOTES, Université de Toulouse 1, Toulouse, Francia. Profesor de la Universidad de Los Andes de 1992 a 2018. Investigador Asociado del Centro de Simulación y Modelos (CESIMO) de la Universidad de Los Andes. Profesor de la Universidad Católica del Norte, Coquimbo, Coquimbo, Chile, desde enero del 2019.

Referencias bibliográficas

- Aguilar Jose (2005). "A Survey about Fuzzy Cognitive Maps Papers". *International journal of computational cognition* 3 (2), pp. 27-33.
- Aguilar Jose (2010). "Dynamic fuzzy cognitive maps for the supervision of multiagent systems", En M. Glykas (2010), *Fuzzy Cognitive Maps*, Springer, Berlin, 307-324.

- Aguilar Jose (2013). Different Dynamic Causal Relationship Approaches for Cognitive Maps”, *Applied Soft Computing*, Elsevier, 13(1), pp. 271–282.
- Aguilar Jose y Oswaldo Terán (2015), “Social media and free knowledge. Case study: public opinion formation”. En Terán Oswaldo, y Aguilar Jose (2015), *Societal Benefits of Freely Accessible Technologies and Knowledge Resources*, IGI Global, Hershey, PA, U.S.A. (ISSN: 2326-7607).
- Aguilar Jose (2016) “Multilayer Cognitive Maps in the Resolution of Problems using the FCM Designer Tool”, *Applied Artificial Intelligence*, 30 (7), 720-743.
- Aguilar J. Puerto E., Gil A., Rodríguez T., Jerez M., Amaya J. (2017) “Grupo de investigación y desarrollo TEPUY”. *Publicaciones En Ciencias Y Tecnología*, 11(2) 79-85.
- AlphaFold: Using AI for scientific discovery (2020). Recuperado de <https://deepmind.com/blog/article/AlphaFold-Using-AI-for-scientific-discovery>
- Chen, T., Rui, J., Wang, Q. et al. (2020) “A mathematical model for simulating the phase-based transmissibility of a novel coronavirus”. *Infect Dis Poverty* 9 (24)
- Kamps Bernd Sebastian y Christian Hoffmann (2020). *COVID Reference*. Edición en español. Steinhäuser Verlag. Hamburgo, Alemania. <https://covidreference.com/>
- Papageorgiou Elpiniki, Stylios Chrysostomos, y Groumpos Peter (2003) “An integrated two-level hierarchical system for decision making in radiation therapy based on fuzzy cognitive maps”, *IEEE Trans Biomed Eng*, 50 (12), pp. 1326–1339.
- Perozo Niriaska, Jose Aguilar, Oswaldo Terán, y Heidi Molina (2013). “A Verification Method for MA-SOES”. *IEEE Transactions on Cybernetics* 43 (1), pp. 64-76.
- Petro Gustavo [Gustavo Petro] (2020, Marzo 17). Análisis sobre el Coronavirus en Colombia, Colombia. Recuperado de <https://www.youtube.com/watch?v=2QC8th3eVS8>
- Puerto Eduard, Jose Aguilar, Chávez Danilo, López Silvia Catalina (2019). “Using Multilayer Fuzzy Cognitive Maps to Diagnose Autism Spectrum Disorder”, *Applied Soft Computing Journal*, 75, pp. 58–71.
- Russia Today [Ahí les va] Tres factores claves del éxito contra el COVID-19 en Asia. Russia. Recuperado de <https://www.youtube.com/watch?v=tpeLQ0INCn0>
- Sánchez Hebert, Jose Aguilar, Oswaldo Terán, José Gutiérrez de Mesa (2019). “Modeling the process of shaping the public opinion through Multilevel Fuzzy Cognitive Maps”, *Applied Soft Computing*, Volume 85. <https://doi.org/10.1016/j.asoc.2019.105756>.
- Terán Oswaldo y Jose Aguilar (2018). “Modelo del proceso de influencia de los medios de comunicación social en la opinión pública”, *EDUCERE*, 21 (71), Universidad de Los Andes, Mérida, Venezuela. <https://www.redalyc.org/toc.oa?id=356&numero=56002>
- Walker Patrick GT, Charles Whittaker, Oliver Watson, Marc Baguelin, Kylie E C Ainslie, Sangeeta Bhatia, y otros (2020), “Report 12 - The global impact of COVID-19 and strategies for mitigation and suppression”. *Imperial College*. Londres. Reino Unido. Recuperado de <https://www.imperial.ac.uk/mrc-global-infectious-disease-analysis/covid-19/report-12-global-impact-covid-19/>
- Woo-joo Kim [Asian Boss Español] (2020, Marzo 30) Experto de COVID-19 DE Corea del Sur. Corea del Sur. Recuperado de <https://www.youtube.com/watch?v=xafPqcy3lwk&t=218s>