

EL PAPEL DE LA INGENIERÍA EN LA PANDEMIA DE COVID-19

The role of engineering in the COVID-19 pandemic

Paola Betancourt Ruiz¹, Marcela Guevara Suárez², Marylin Hidalgo¹, Silvia Restrepo³, Erik Potdevin⁴, Jorge A. Huertas⁴, Andrés L. Medaglia⁵, Juan M. Pedraza⁶, Martha L. Cepeda⁷ y Pablo Arbeláez⁸

1. Departamento de Microbiología, Pontificia Universidad Javeriana.

2. Applied Genomics Research Group. Vicerrectoría de Investigación y Creación, Universidad de los Andes. Contacto: mi.guevara34@uniandes.edu.co

3. Vicerrectora de Investigación y Creación. Profesora titular, Departamento de Ingeniería Química y de Alimentos, Universidad de los Andes. Contacto: srestrep@uniandes.edu.co

4. Investigadores del Centro para la Optimización y Probabilidad Aplicada (COPA), Departamento de Ingeniería Industrial, Universidad de los Andes.

Contacto: e.potdevin@uniandes.edu.co y huertas.ja@uniandes.edu.co

5. Director del Centro para la Optimización y Probabilidad Aplicada (COPA). Profesor titular, Departamento de Ingeniería Industrial, Universidad de los Andes.

Contacto: amedagli@uniandes.edu.co

6. Profesor asociado, Departamento de Física, Universidad de los Andes.

Contacto: jmpedraza@uniandes.edu.co

7. Coordinadora de investigaciones, Decanatura de Ciencias, Universidad de los Andes.

Contacto: ml.cepeda@uniandes.edu.co

8. Director del Centro de Investigación y Formación en Inteligencia Artificial (CINFONIA). Profesor asociado, Departamento de Ingeniería Biomédica, Universidad de los Andes.

Contacto: pa.arbelaez@uniandes.edu.co

La COVID-19 es una infección ocasionada por una nueva especie de coronavirus, conocido como SARS-CoV-2 (Síndrome respiratorio agudo severo coronavirus 2) (1, 2). Esta enfermedad ha generado la pandemia más grande experimentada a nivel mundial en las últimas décadas, ya que ha afectado 219 países, áreas o territorios de todo el mundo según información reportada por la OMS (3). Los datos acumulados al 29 de octubre de 2020 muestran 44'002.003 personas

con infección por SARS-CoV-2 confirmada, de las cuales 1'167.988 no sobrevivieron a la enfermedad (4).

La pandemia de COVID-19 ha representado una enorme crisis de salud a nivel mundial, generando desafíos y retos a nivel multidisciplinario. El sector salud ha estado en primera línea, trabajando para estudiar, contener y mitigar la propagación de esta enfermedad. Sin embargo, otras disciplinas que no suelen ser

Palabras clave: Ingeniería, SARS-CoV-2, prueba diagnóstica, inteligencia artificial.

Key words: Engineering, SARS-CoV-2, diagnostic test, artificial intelligence.

consideradas cercanas al sector salud han diseñado estrategias con el fin de ayudar a la crisis global. Una de estas disciplinas es la ingeniería, y ha hecho aportes en áreas muy diversas de la respuesta a la pandemia, que van de lo predecible a lo sorprendente.

Un ejemplo de contribuciones en un área de intersección natural con la ingeniería es en el diseño de equipos y elementos de protección personal (EPP). Teniendo en cuenta la forma de transmisión de la enfermedad a través de gotitas respiratorias y el alto riesgo de contagio del personal médico que se encuentra trabajando por la mitigación y contención de la infección, se hace necesaria la creación o mejora de los EPP con el fin de generar mejores comodidades para quienes deben usarlos durante todas sus jornadas de trabajo sin sacrificar la seguridad. Se está trabajando en la creación de mascarillas que inactiven las partículas virales que puedan ser expulsadas, así como en el desarrollo de trajes inteligentes y multifuncionales equipados con capacidades de comunicación inalámbrica y microsensores para detectar el virus, controlar la humedad y la temperatura y monitorear las condiciones fisiológicas de los médicos sin comprometer la función protectora y la flexibilidad (8).

Otro ejemplo es el desarrollo de equipos de tratamiento y prevención. Ha recibido mucha atención el esfuerzo de diferentes grupos por desarrollar y construir ventiladores artificiales, incluyendo equipos de ingenieros sin relación con la biomédica, como el equipo de ingeniería de Fórmula 1 de Mercedes (11). Sin embargo, hay muchos otros aspectos de tratamiento y prevención en los que trabajan equipos de ingenieros, como un aerosol nasal guiado como candidato a la forma de aplicación de una vacuna intranasal. Este desarrollo se realizó con un modelo anatómico, utilizando tomográficas computarizadas *in silico* para la simulación numérica del flujo de aire inhalado y el transporte de gotitas en la mucosa respiratoria (7). Otra solución a los problemas de una posible vacunación es el desarrollo de un sistema de parche con microaguja que se disuelven, creado por equipos en la Universidad de Pittsburgh y Carnegie Mellon (12).

Por otro lado, la ingeniería se ocupa de la optimización de procesos en general, y esto incluye otros aspectos del manejo de la pandemia. Un ejemplo de esto es la creación del “COVID-19 queueing game”, una estrategia que permite disminuir el riesgo de infección en asistencia a supermercados o establecimientos públicos controlando el número máximo de compradores por tienda y el de clientes en el área de caja. Este desarrollo se basa en el conocimiento de que la probabilidad de infección está asociada a períodos prolongados de contacto con personas infectadas, es decir cuánto más tiempo se pasa en un entorno con personas infectadas, mayor es el riesgo de contagio (6).

Las consecuencias de la pandemia van más allá del impacto sobre la salud, y en el manejo y evaluación de otros impactos también ha habido contribuciones de la ingeniería. El distanciamiento social y el despliegue del teletrabajo como nueva alternativa a las necesidades laborales influyó en la necesidad de almacenar una enorme cantidad de datos útiles a velocidades aceleradas, así como la aplicación de modelos matemáticos, estadísticos y algorítmicos para el procesamiento de información, por lo que durante esta pandemia han cobrado importancia aspectos de la ciencia de datos para análisis de macrodatos, servicios y datos inteligentes (9), así como la ampliación de redes inalámbricas e inteligencia artificial (10). Por otro lado, las cuarentenas impuestas en respuesta a la pandemia han tenido impacto sobre múltiples aspectos de la sociedad, e incluso el medio ambiente. Una contribución en este ámbito fue la creación de un sistema acoplado humano-ambiente (CHES) que permitió cuantificar el impacto negativo generado por los humanos al planeta, al evaluar como éste fue ligeramente revertido durante la pandemia por COVID-19 gracias a las cuarentenas implementadas en muchas partes del mundo. Esto, a su vez, mostró que la naturaleza tiene un gran potencial de auto-recuperación cuando existen intervenciones antropogénicas controladas (5).

En Colombia, la Universidad de los Andes lideró la iniciativa de apoyo de las universidades al Instituto Nacional de Salud y varias secretarías de salud en el



diagnóstico del virus. Así, el Laboratorio GenCore (centro de secuenciación) implementó la prueba para la detección de SARS-CoV2. Paralelamente, se creó el proyecto COVIDA con el objetivo de realizar una búsqueda activa del virus con la realización de pruebas de RT-PCR gratuitas a ciertas poblaciones. Dentro del marco del proyecto se planteó la toma, procesamiento y análisis de muestras de población que –por su trabajo y alta movilidad en lugares públicos– tienen alto riesgo de contagio y, sin presentar síntomas, pueden estar contagiados y convertirse en dispersores del virus. El testeo ha incluido profesionales de la salud, conductores de transporte público, tenderos, domiciliarios, personal de policía y ejército nacional, bomberos y guardias de seguridad. Con la apertura de actividades económicas, el proyecto amplió la población testeada incluyendo a usuarios del sistema masivo de transporte Transmilenio en Bogotá.

Al 20 de noviembre de 2020, el proyecto COVIDA había contactado a más de 100.000 personas y se habían realizado 33.891 pruebas con un porcentaje de positividad del 4,33 %. El mayor porcentaje de casos positivos se ha encontrado para personas del estrato

1, seguido del estrato 2 y el estrato 3. En el proyecto participan más de 150 personas, entre las que se cuentan quienes realizan las citas, toman las muestras en centros comerciales o a domicilio y el personal del laboratorio; y se ha logrado gracias a la confianza de socios con los que se han trabajado diferentes aspectos del proyecto. Los socios con quienes se inició el proyecto en marzo de 2020, fueron la Universidad Nacional de Colombia y la Secretaría de Salud de Bogotá pero, poco a poco, se han sumado más aliados.

Adicional a este esfuerzo, investigadores de diferentes disciplinas de Los Andes se han unido para contribuir en la aplicación de conocimientos y estrategias para optimizar el trabajo del laboratorio y de la búsqueda activa del virus en personas asintomáticas. Este equipo multidisciplinario está conformado por profesionales de las Facultades de Ingeniería, Medicina y Ciencias.

Dentro de los esfuerzos realizados se ha buscado la optimización de procesos en las diferentes áreas del laboratorio, para lo cual ha sido importante entender y analizar su funcionamiento. Por esta razón, un equipo se encuentra modelando el laboratorio



Laboratorio GenCore, usado para la optimización de procesos.

Fotos: Felipe Cazares, Universidad de los Andes.

GenCore haciendo uso de simulación de eventos discretos con visualización 3D. Para que una prueba diagnóstica determine la presencia del virus debe ser procesada en cuatro estaciones del laboratorio. En estas estaciones (i) se inactiva el virus, (ii) se extrae el material genético haciendo uso de robots, (iii) se siembran las muestras con los reactivos y (iv) se amplifica el material genético permitiendo la detección del virus. A través de la simulación es posible replicar el funcionamiento actual del laboratorio, para poder después evaluar posibles escenarios que mejoren su operación (14).

Con el modelo de simulación del laboratorio se puede estimar el rendimiento del laboratorio (i.e., cantidad de pruebas procesadas), medir la utilización de cada una de las estaciones, identificar posibles cuellos de botella en el procesamiento, cuantificar posibles demoras en los procesos y evaluar nuevas políticas o alternativas de mejora sin la necesidad de interrumpir el funcionamiento del laboratorio en el día a día. De esta manera, el modelo de simulación soportará el proceso de toma de decisiones dentro del laboratorio para aumentar su eficiencia en el procesamiento

de las pruebas diagnósticas del virus causante de COVID-19.

Otro aspecto a optimizar es la forma de hacer las pruebas. El trabajo en Inteligencia Artificial (IA) se concentró en aumentar el número de personas que se pueden diagnosticar para el virus causante de COVID-19 con un número de pruebas moleculares fijo (pruebas PCR, *polymerase chain reaction*). La estrategia empleada en la pandemia actual consiste en diagnosticar a una persona por cada kit molecular, lo cual es poco eficiente y costoso. Como alternativa, países como Alemania, Estados Unidos, China y Corea del Sur han implementado estrategias de *pooling*, que consisten en evaluar con una sola prueba molecular las muestras de un grupo de personas de manera conjunta. Si el resultado de la prueba grupal es negativo, todas las muestras pueden considerarse negativas. Si el resultado es positivo, cada una de las muestras debe evaluarse de manera individual. El *pooling* ha sido empleado en numerosos contextos desde la segunda guerra mundial y es útil siempre y cuando la proporción de personas con la enfermedad en la población sea baja. Al aumentar esta proporción,

las pruebas grupales resultan casi siempre positivas y es necesario realizar sistemáticamente pruebas de verificación individuales, resultando en un gasto de kits moleculares mayor que si se hubiera procedido con pruebas individuales desde el comienzo.

Como solución a este problema, se propuso la estrategia de *Smart Pooling*, una herramienta de IA que analiza datos clínicos de los pacientes como sus síntomas, aspectos socioeconómicos y contactos recientes, para predecir la probabilidad que la persona esté infectada por el coronavirus. De esta manera, se puede hacer un *pooling* inteligente en el cual, si la IA predice que la prueba va a ser positiva, se realiza directamente un procedimiento individual. Por otra parte, si se predice que la prueba va a ser negativa, se envía la muestra a una prueba grupal. Así, es posible aumentar el número de personas que se pueden diagnosticar con un número de pruebas moleculares fijo. Hasta el momento, se realizó una prueba piloto de *Smart Pooling* con muestras del proyecto COVIDA, que analiza cerca de 300 muestras diarias. En dos semanas, se logró evaluar gracias a la inteligencia artificial más de 2000 pacientes adicionales sin ningún costo. Esta estrategia tiene la

capacidad de potenciar la lucha contra la pandemia no solo en el laboratorio de la Universidad de los Andes sino en otros países.

Sin duda alguna, la unión de investigadores de diferentes disciplinas permite afrontar mejor los desafíos de una pandemia, permitiendo desarrollar nuevas hipótesis, definir nuevos problemas de investigación y crear soluciones centradas en los usuarios. Por otra parte, este tipo de colaboraciones ayuda a educarnos a nosotros mismos y al público en general, para que podamos trabajar mejor con investigadores médicos y abordar diversos aspectos de los desafíos asociados con la transmisión y propagación de infecciones y sus consecuencias. Por último, la variedad de aspectos en los que ha intervenido en esta coyuntura ilustra la multitud de formas en que la ingeniería puede aportar a solucionar los problemas apremiantes de la sociedad.

El 25 de noviembre, en el Laboratorio Gencore se procesó la prueba número 100.000 para la detección del Coronavirus, aportando cerca del 7 % de la capacidad diaria de pruebas de PCR del país (13). ●

REFERENCIAS BIBLIOGRÁFICAS

1. Baloch S, Baloch MA, Zheng T, Pei X. The Coronavirus Disease 2019 (COVID-19) Pandemic. *Tohoku J Exp Med.* 2020;250(4):271-8.
2. Harapan H, Itoh N, Yufika A, Winardi W, Keam S, Te H, et al. Coronavirus disease 2019 (COVID-19): A literature review. *J Infect Public Health.* 2020;13(5):667-73.
3. WHO Coronavirus disease (COVID-19) pandemic <https://www.who.int/emergencies/diseases/novel-coronavirus-2019> 2020
4. WHO Coronavirus Disease (COVID-19) Dashboard <https://covid19.who.int/2020>
5. Sarkar P, Debnath N, Reang D. Coupled human-environment system amid COVID-19 crisis: A conceptual model to understand the nexus. *Sci Total Environ.* 2020;753:141757.
6. Perlman Y, Yechiali U. Reducing risk of infection - The COVID-19 queueing game. *Saf Sci.* 2020;132:104987.
7. Basu S, Holbrook LT, Kudlaty K, Fasanmade O, Wu J, Burke A, et al. Numerical evaluation of spray position for improved nasal drug delivery. *Sci Rep.* 2020;10(1):10568.
8. Huang H, Fan C, Li M, Nie HL, Wang FB, Wang H, et al. COVID-19: A Call for Physical Scientists and Engineers. *ACS Nano.* 2020;14(4):3747-54.
9. Leung CK. Data Science for Big Data Applications and Services: Data Lake Management, Data Analytics and Visualization. *Advances in Intelligent Systems and Computing.* 2020;899 AISC.
10. Nguyen CT, Saputra Y, Mulya, Van Huynh NN, Ngoc-Tan, Viet Khoa T, Minh Tuan B, et al. A Comprehensive Survey of Enabling and Emerging Technologies for Social Distancing Part II: Emerging Technologies and Open Issues. *IEEE.* 2020;8:154209-36.
11. University College London Hospitals: Breathing aids developed by UCL, UCLH and F1 team delivered to 40 NHS hospitals (2020) <https://www.uclh.nhs.uk/News/Pages/BreathingaidsdevelopedbyUCL,UCLHandF1teamdeliveredto40NHShospitals.aspx>
12. Emrullah Korkmaz , Emily E Friedrich , Mohamed H Ramadan , Geza Erdos , Alicia R Mathers , O Burak Ozdoganlar , Newell R Washburn , Louis D Falo Jr. Tip-Loaded Dissolvable Microneedle Arrays Effectively Deliver Polymer-Conjugated Antibody Inhibitors of Tumor-Necrosis-Factor-Alpha Into Human Skin. *J Pharm Sci.* 2016 Nov;105(11):3453-3457. doi: 10.1016/j.xphs.2016.07.008
13. Instituto Nacional de Salud, Colombia tiene la mejor capacidad diagnóstica en América Latina (2020) <https://www.ins.gov.co/Noticias/Paginas/Colombia-tiene-la-mejor-capacidad-diagn%C3%B3stica-en-Am%C3%A9rica-Latina.aspx>
14. Banks, J. (2014). *Discrete-event system simulation.* Harlow: Pearson.



Foto: Felipe Cazares, Universidad de los Andes.