
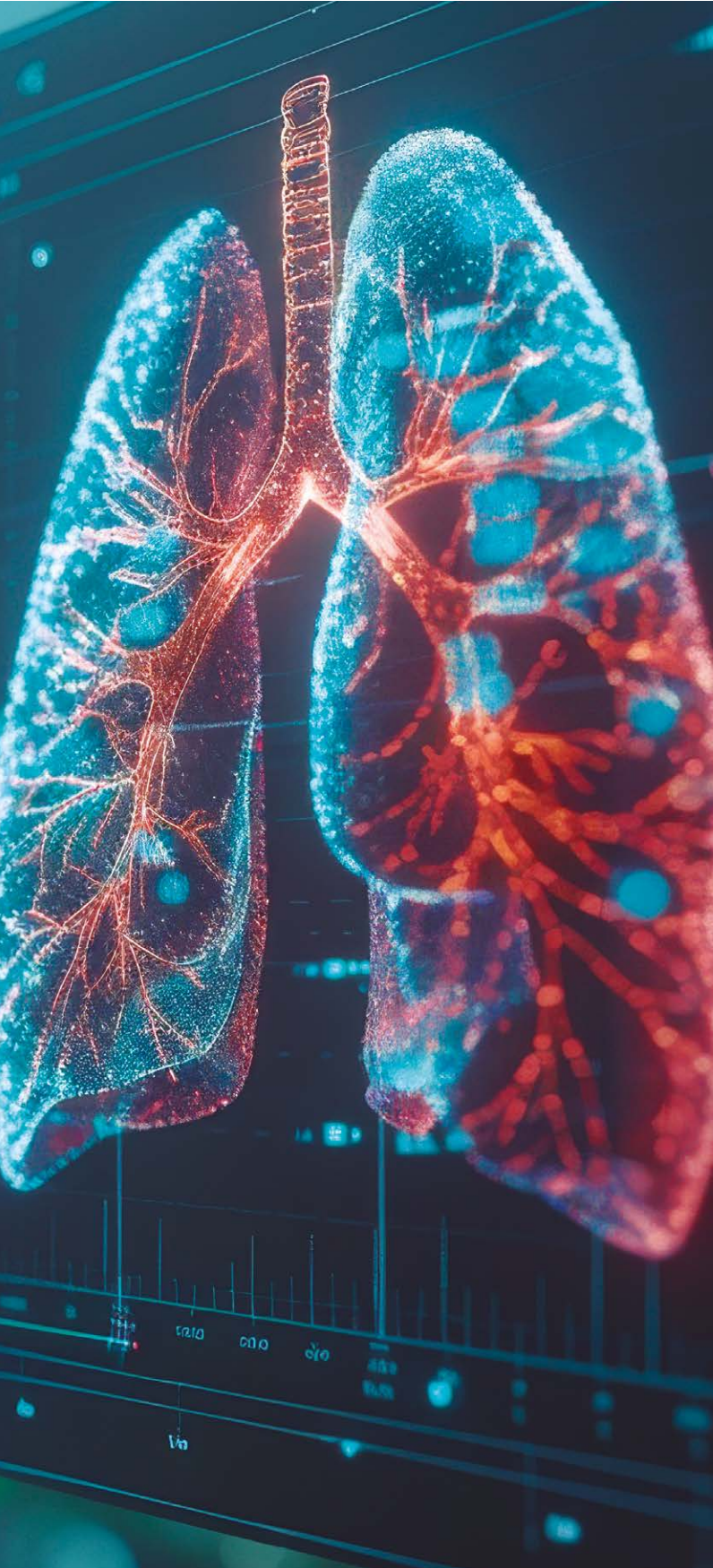


Máquinas e inteligencia artificial, una nueva cura contra la tuberculosis





Un grupo de médicos e ingenieros emplea modelos de análisis de datos, *machine learning* (aprendizaje automático) e inteligencia artificial para combatir la tuberculosis pulmonar en los lugares más necesitados de Colombia.

Por David Mayorga

Fotos 123RF, Milagro Castro

DOI https://doi.org/10.12804/dvcn_10336.425621_num7

La molestia inicia en la hipofaringe, la parte baja de la garganta. Es un cosquilleo que va subiendo —a veces causa resequedad—, se propaga por las paredes de la zona y se transforma en tos: una contracción leve, seguida por un sonido gutural que solo busca despejar el tracto entre los pulmones y la boca.

Con el paso de los días esa tos se vuelve insistente. Aparece en las primeras horas de la mañana, antes de entrar a la ducha, y persiste a lo largo de la jornada, cuando va aumentando la sensación de sed y van apareciendo dolores en el pecho. Al llegar la noche, la tos aumenta de intensidad y soporta incluso el efecto calmante de las bebidas calientes, infusiones de hierbas y otros remedios caseros con que se le intenta cerrar el paso. Y sigue ahí, mientras la persona trata de conciliar el sueño... Con el paso de los días o de semanas, la tos se intensifica hasta convertirse en un malestar general que obliga a la persona a acudir al médico.

Ya en el consultorio, sentada frente al doctor, comienzan las preguntas: cuántos años tiene, dónde vive, con

quién, desde hace cuánto viene sintiendo el malestar... todas se contestan entre pequeños episodios de tos. Acto seguido, con su estetoscopio en mano, el médico inicia el chequeo de costumbre y a medida que va auscultando sus sospechas se hacen más sólidas. Va hasta el armario y regresa con una bolsa y dos frascos plásticos: le ordena al paciente que tosa con todas sus fuerzas y escupa en el interior de uno de ellos; le recomienda repetir la acción al día siguiente. Ambos frascos serán enviados al laboratorio para ser analizados.

Pero el tiempo pasa y no hay noticia alguna de los resultados. La tos se hace mucho más persistente y escandalosa. Es más: duele toser. Y a su alrededor surgen nuevos episodios de tos dentro de la familia y entre los amigos más cercanos. El desespero y la persistencia del dolor obligan al paciente a regresar al consultorio. Y llega una noticia inesperada: hubo problemas de transporte, las muestras se contaminaron y no fue posible su análisis.

La evolución de esos síntomas confirma las sospechas del médico, pero el alto costo de la prueba molecular no le permite corroborarlo de inmediato. Acudiendo a su experiencia, el doctor le receta antibióticos, toma nuevas muestras y ordena una rutina de cuidados exhaustivos. Mes y medio más tarde los resultados están listos, y con ellos el médico reconfirma sus sospechas de que el paciente padece tuberculosis. Pero hay algo mucho peor: para ese momento, ya el círculo cercano del paciente padece también episodios incómodos y repetitivos de tos.

Todos se han contagiado con el bacilo *Mycobacterium tuberculosis*.

Pareciera surreal, pero es una escena que ocurre en diferentes poblaciones de Colombia. Según datos compilados por el Instituto Nacional de Salud (INS) en el sistema de registro [Sivigila](#), a la primera semana de octubre de 2023 se habían registrado, exactamente, 17.754 casos de tuberculosis en todo el territorio. Parece una cifra pequeña dado que la población colombiana sobrepasa los 50 millones de habitantes —de hecho, en 2022 la tasa de incidencia de la tuberculosis pulmonar, el tipo más común, fue de 29,39 por cada 100.000 habitantes en 2022—. No obstante, esos números llaman la atención de los médicos expertos como el neumólogo Carlos Awad, quien lleva más de 35 años estudiando la enfermedad y registrando detalladamente sus hallazgos.

“La tuberculosis es una enfermedad prevenible, tratable, curable, que se relaciona con algunos factores especiales de riesgo, los cuales



probablemente constituyan hechos negativos. Entonces, enfermarse de tuberculosis indicaría que hay algo que está fallando en el sistema sanitario o en la parte socioeconómica. Por eso es una enfermedad de importancia en el ámbito de la salud pública, tal como son la lepra, el tétanos o el sarampión. Para el país, la tuberculosis es una enfermedad prioritaria”, explica el doctor Awad.

Aunque se encuentra retirado, el especialista sigue vinculado al Hospital Santa Clara en Bogotá, tras una vida como coordinador del Laboratorio Pulmonar de la institución, miembro de su comité de ética e, incluso, como subdirector de Investigación. En toda su carrera ha atestado la evolución de las cifras de contagio de esta enfermedad, pero, sobre todo, ha tratado a sus pacientes.

Las cifras de SiviGila muestran que la tuberculosis está presente en todo el territorio colombiano: desde los 10 casos registrados en el archipiélago de San Andrés, Providencia y Santa Catalina, hasta los 3.599 del departamento de Antioquia. Sin embargo, el análisis de esos números comprueba que su trasfondo es enteramente sociodemográfico, pues el 80,29% de los casos confirmados están ubicados en los estratos 1 y 2. Incluso, ir más allá permite verle el rostro a esta enfermedad, porque las poblaciones más afectadas corresponden a las que viven hacinadas en cárceles (1.120 registros), los migrantes (876, cifra que abarca desplazados por el conflicto interno) y los indígenas (720).

El periplo de la inteligencia artificial

Una simple hoja de Excel. Con ese primer insumo comenzó a construirse una nueva herramienta para tratar la tuberculosis en Colombia. Se trata de un registro de pacientes que el neumólogo Awad venía compilando mientras cumplía sus funciones en el Hospital Santa Clara (de acuerdo con su consulta y a partir de los datos recogidos durante las brigadas de salud que la institución adelanta en poblaciones vulnerables). Sin duda, un ejercicio valioso que, no obstante, demostraba que había mucho camino por recorrer.

“Las diferencias en la disposición de datos son abismales. Por ejemplo, China, con sus ciudades de millones de habitantes, siempre hace estudios de forma muy fácil. Aquí nos toca escarbar un poco más en los datos”, afirma Álvaro David Orjuela Cañón, ingeniero electrónico, doctor en Energía Eléctrica (enfocada en inteligencia computacional en salud) de la Universidad Federal de Río de Janeiro, y profesor asociado en la Escuela de Medicina y Ciencias de la Salud de la Universidad del Rosario.

En 2015, luego de haber culminado su investigación doctoral con los casos de tuberculosis en varios hospitales cariocas ([la Organización Mundial de la Salud](#) –OMS– estimó 104.000 contagios en el país vecino durante 2021), Orjuela aterrizó en Colombia con el objetivo de investigar y encontrar soluciones para el tratamiento de la enfermedad. Y para ello, no solo trajo consigo los resultados de sus ensayos en Brasil, sino también una aliada inesperada: la inteligencia artificial (IA).

Su idea consistía en un instrumento que le permitiera al médico en la primera consulta, y a partir de la información sociodemográfica aportada por el paciente (barrio de residencia, condiciones de su hogar, número de personas con las que convivía y posibilidades de acceso al sistema de salud, entre otros datos), así como la descripción de su sintomatología, determinar con ayuda de modelos estadísticos y el procesamiento de datos la probabilidad de que padeciera o no tuberculosis.



↑
Álvaro David Orjuela Cañón, profesor asociado en la Escuela de Medicina y Ciencias de la Salud de la Universidad del Rosario, explica que sería ideal incluir este modelo de análisis basado en inteligencia artificial en una aplicación móvil que le permita a los médicos priorizar los limitados recursos a su mano a la hora de decidir qué tratamiento aplicar a un paciente con síntomas de tuberculosis.

Sería un paso previo antes de la aplicación de la baciloscopia o, en determinados casos, de otras pruebas como el cultivo de micobacterias, un test molecular o, para casos extremos, una punción que determine si la tuberculosis ha afectado a la pleura del pulmón. Esto permitiría iniciar el tratamiento de inmediato, reducir el riesgo de un contagio y, en casos extremos como los que suceden en regiones apartadas de Colombia con coberturas restringidas de salud, evitarle sobrecostos a los pacientes.

Eso sí, para construirlo primero que todo necesitaba datos. Y aunque encontró una buena cosecha en las bases del SiviGila, Orjuela muy pronto se topó con una dificultad: “El sistema compila los casos ya confirmados, pero para entrenar los modelos de IA necesitábamos mostrarle también los descartados”.

Al intentar acceder a estos últimos recibió muchas negativas por parte de diversas instituciones de salud de Bogotá. Hasta que despertó el interés del neumólogo Awad y del Hospital Santa Clara, referencia en Colombia en el tratamiento de la tuberculosis si se tiene

en cuenta que [fue inaugurado en 1942](#) como sanatorio antituberculoso nacional. La propuesta innovadora de análisis basado en IA comenzó a construirse, entonces, con el archivo de Excel en el que, durante varios años, Awad venía consignando datos sobre los pacientes que trataba, trabajo en el que el doctor Orjuela también colaboraba.

El proyecto en sí daría un giro radical en 2018. Orjuela, quien para la fecha trabajaba en la Universidad Antonio Nariño, recibió en conjunto con su colega [Andrés Jutínico](#), el neumólogo Awad y la [Subred Integrada de Servicios de Salud](#) Centro Oriente E.S.E. —a la que pertenece el Santa Clara— una beca del hoy Ministerio de Ciencia, Tecnolo-

gía e Innovación para implementar su idea, bautizada como “[Generación de modelos alternativos basados en inteligencia computacional para tamización y diagnóstico de tuberculosis pulmonar](#)”. Este apoyo le permitió el acceso a las bases de datos institucionales que tanto necesitaba para avanzar a la siguiente fase: el entrenamiento de la herramienta IA a través del *machine learning* (o aprendizaje automático).

Para ello fue necesario implementar hasta cinco modelos distintos de análisis de información (ver recuadro) necesarios para depurar los datos y procesarlos según seis variables pen-

De árboles, neuronas y otros modelos de inteligencia artificial (IA)

Para construir los modelos de inteligencia artificial, los científicos se apoyaron en diferentes técnicas. Ellas son:

- **Árboles de decisiones:** se emplea para resolver problemas en la clasificación de datos. Suele representarse como un cuadro sinóptico construido con nodos internos, que reflejan las características de un conjunto de datos; sus ramas constituyen las reglas de decisión y cada hoja (nodo) es un resultado.
- **Bosques aleatorios:** algoritmos contruidos a partir de árboles de decisiones. Permite realizar un aprendizaje conjunto al combinar múltiples clasificadores para resolver un problema complejo y mejorar el rendimiento del modelo empleado.
- **Máquinas de soporte vectorial:** también utilizadas para labores de clasificación, permiten construir la mejor línea (o límite) de decisión para establecer los valores de oposición entre dos categorías de datos y, a través de reglas de probabilidades, establecer su repetición en el futuro.
- **Redes neuronales:** a partir del modelo de organización y conexión cerebral, este algoritmo une nodos de decisiones y permite descifrar e identificar la ruta de procesamiento de un dato determinado.
- **Regresión lógica:** es uno de los algoritmos más utilizados. Se emplea para predecir la variante dominante de un grupo de variables independientes, prediciendo así un resultado.

Cifras de la OMS sobre la tuberculosis (de 2021)



sadas en el contexto del Santa Clara, todas indagando sobre la realidad socioeconómica y demográfica del paciente: sexo biológico, edad, grupo poblacional al que pertenece, localidad bogotana de residencia, padecimiento o no de VIH-sida y si ha recibido tratamiento retroviral. Posteriormente se analizaron los resultados obtenidos en compañía del personal médico.

“Fue difícil establecer qué datos servían y cuáles no, porque faltaba información”, explica Orjuela. “Detectamos varias inconsistencias, como gente que había iniciado tratamiento mucho antes de su entrada a los registros del hospital. En esos casos recurríamos directamente a los médicos. Ellos conocían el detalle de la adquisición de los datos, lo cual sirvió bastante”.

La investigación, que se pensaba concluir en 2020, también sufrió con las consecuencias de la pandemia por covid-19,

pues las restricciones de movimiento condicionaron la fase de estudios prospectivos que el equipo de investigación había diseñado y obligó a los investigadores a centrarse en cálculos retrospectivos. Aun así, en 2021 concluyeron su implementación y un año más tarde divulgaron sus hallazgos: primero, en un foro con el INS en donde recibieron el interés de diferentes comunidades científicas para ampliar el alcance de su análisis, y segundo, en el artículo *Machine learning in the loop for tuberculosis diagnosis support* ([Aprendizaje automático en bucle para apoyar el diagnóstico de tuberculosis](#)), publicado en la revista especializada *Frontiers in Public Health*.

No obstante, aún falta más trabajo para que la investigación tenga una practicidad evidente. En opinión de Orjuela, sería ideal incluir este modelo de análisis, junto con la tecnología que emplea, en una aplicación móvil que le permita a los médicos priorizar los limitados recursos a su mano a la hora de decidir qué tratamiento aplicar a un paciente con síntomas de tuberculosis: “No es una mentira que la infraestructura sanitaria en el país es deficiente o insuficiente. En algunas zonas solo se cuenta con un puesto de salud, no con personal médico especializado ni laboratorios. Por eso, con este desarrollo buscamos darle una mano a ese médico que está en esas áreas para que él, dependiendo de su experticia, sepa qué puede hacer con sus pacientes”.

Para Awad, sin embargo, esta implementación supone un hito. Su memoria tiene muy claros todos los esfuerzos que se han llevado a cabo para que la tuberculosis sea solo un mal recuerdo: desde los primeros sanatorios de comienzos del siglo XX, copiados de los modelos europeos para combatir la enfermedad, pasando por las acciones mundiales coordinadas en la época de la explosión del VIH-sida (que debilita el sistema de defensa de los pacientes y aumenta su vulnerabilidad ante el bacilo tuberculoso), hasta el momento actual, cuando el [Plan Nacional para su erradicación](#) contempla protocolos coordinados y acciones para frenar la resistencia del microorganismo a los medicamentos.

Sus años de experiencia le permiten dilucidar que estos esfuerzos lograrán sobreponerse a la realidad del sistema de salud colombiano y a uno de sus principales obstáculos: los recursos limitados. “Esta es una investigación absolutamente lúcida. Aquí lo que estamos haciendo es procurar seleccionar un poco mejor a qué paciente tratar y con qué procedimiento”, concluye el experto. “Es, sin duda, un paso importante contra la tuberculosis, porque la IA va a seguir caminando y la investigación científica también”. ■

