

El uso de la inteligencia artificial en la programación fetal

Cada día se conocen nuevos conceptos sobre la fisiopatología de las enfermedades y se proponen nuevas estrategias preventivas o terapéuticas. El concepto de programación fetal (PF) ha estado en constante evolución junto con nuevos avances en distintas áreas del conocimiento. Actualmente, el manejo y análisis de datos mediante inteligencia artificial (IA) ha revolucionado la forma de hacer investigación. En este artículo exploraremos el concepto de PF y su relación con el uso de la IA.

■ **Cómo cambia la IA la forma en que se nos presentan los datos en investigación clínica**

■ La IA está cambiando la forma en la que hacemos investigación en medicina. IA se refiere a la simulación de la inteligencia humana mediante computadoras o programas computacionales especializados creados para “pensar” como un humano y replicar sus acciones, de modo que sea capaz de simular procesos de aprendizaje, razonamiento y autocorrección (Joison *et al.*, 2021). Esto cambia completamente la forma en la que se presentan e interpretan los resultados de una investigación científica. Se puede aplicar al manejo y presentación de datos, a la búsqueda de información, en el muestreo de un estudio, en el reclutamiento de pacientes, e incluso se puede usar para mejorar el diseño de una investigación.

En los últimos años, hemos sido testigos de una evolución significativa de la IA en la medicina, desde las primeras publicaciones donde sus aplicaciones estaban limitadas a procesos básicos de investigación y docencia, hasta ahora, que se utiliza para mejorar todo el proceso de investigación, la aplicación de resultados en la práctica clínica y la simulación de procesos para evitar repetir un fenómeno en incontables ocasiones.

Esta evolución ha sido impulsada por una combinación de mejoras en las capacidades de la IA, el crecimiento exponencial de los datos médicos disponibles y una



creciente aceptación de la tecnología en el campo médico. En resumen, la IA en medicina está permitiendo a los investigadores llevar a cabo simulaciones más detalladas, precisas y eficientes. Ejemplos de estas simulaciones son los entornos de realidad virtual y de realidad aumentada, además de la planeación de cirugías. Esto tiene el potencial de acelerar la investigación, impulsar la industria informática, reducir costos y mejorar la seguridad y eficacia de los nuevos tratamientos.

Progresivamente, la IA ha ido evolucionando hasta convertirse en una de las principales ramas de la ciencia de la computación. Quizá la parte de la IA con aplicaciones más inmediatas se basa en las “redes neuronales artificiales” (ANN, por sus siglas en inglés), que están compuestas por “elementos procesadores” (PE, por sus siglas en inglés), que son una abstracción computacional de las neuronas humanas. Los PE se encuentran organizados por niveles, denominados “capas”. Y es, precisamente, el conjunto de todas estas capas lo que forma una ANN completa (Ávila-Tomás *et al.*, 2020). De esta forma, la IA no sólo logra emular ciertas partes de la inteligencia humana, sino que la supera en cuanto a capacidad de procesamiento y de respuesta en comparación con el cerebro humano. Existen otros métodos de IA que no se encuentran organizados como una ANN, sino que utilizan combinaciones de funciones matemáticas para su funcionamiento; ejemplos de éstos son: las máquinas de soporte vectorial (SVM, por sus siglas en inglés), bosques aleatorios, árboles de decisión, clasificador bayesiano ingenuo, k-vecinos más cercanos, entre otros; todos éstos son ampliamente utilizados en aplicaciones médicas. La **Figura 1** muestra un resumen de todo lo anterior; se sintetizan los tipos de aprendizaje (supervisado, no supervisado, semisupervisado, por reforzamiento), los métodos de clasificación (los mencionados anteriormente), y además se detallan las aplicaciones de la IA en las que se ha trabajado, las cuales son: detección oportuna de preeclampsia y estimación de riesgo de presentar depresión postparto.

La IA ha beneficiado enormemente a la investigación clínica y su aplicación ha contribuido a optimizar tiempos y costos, a mejorar los resultados

obtenidos y a la creación de modelos de predicción mucho más eficientes que los creados con los modelos matemáticos convencionales. Los continuos avances en los nuevos modelos de investigación están permitiendo nuevas visiones en el ámbito de la salud, las cuales pueden contribuir al estudio de las enfermedades, de sistemas de diagnóstico y de respuestas de tratamiento.

Existen numerosos ejemplos de aplicaciones de la IA en investigación médica, ya sea acelerando el ritmo de investigación o ayudando a los sanitarios a mejorar la toma de decisiones sobre tratamientos o diagnósticos; por ejemplo (Joison *et al.*, 2021; Ávila-Tomás *et al.*, 2020; García-López *et al.*, 2023):

- *Detección precoz y diagnóstico de enfermedades:* los modelos IA podrían emplearse para observar los síntomas de los pacientes y alertar a los médicos sobre ciertos riesgos.
- *Diseño de tratamiento personalizado:* los modelos de IA pueden aprender y retener referencias. Este hecho supone un gran potencial ante los tratamientos personalizados en tiempo real.
- *Eficiencia de los ensayos clínicos:* el desarrollo de la tecnología puede ayudar a acelerar el tiempo de los ensayos clínicos, puesto que proporciona una búsqueda más rápida de los códigos médicos asignados a los resultados de los pacientes.
- *Aceleramiento del desarrollo:* la IA podría ayudar a reducir el costo de la generación de nuevos fármacos, ya que es capaz de mejorar el diseño de éstos.
- *Reducción de errores en el diagnóstico por imagen:* actualmente, la IA ya desempeña un papel crucial en el área de las imágenes médicas. La IA es tan eficaz o aún más que la evaluación por medios convencionales para identificar alteraciones en una imagen obtenida por ultrasonido, rayos X, tomografía o resonancia magnética.

Sobre la validez de los resultados obtenidos mediante IA y cómo interpretarlos

Se han mencionado en los apartados previos las ventajas del uso de IA en investigación en medicina;

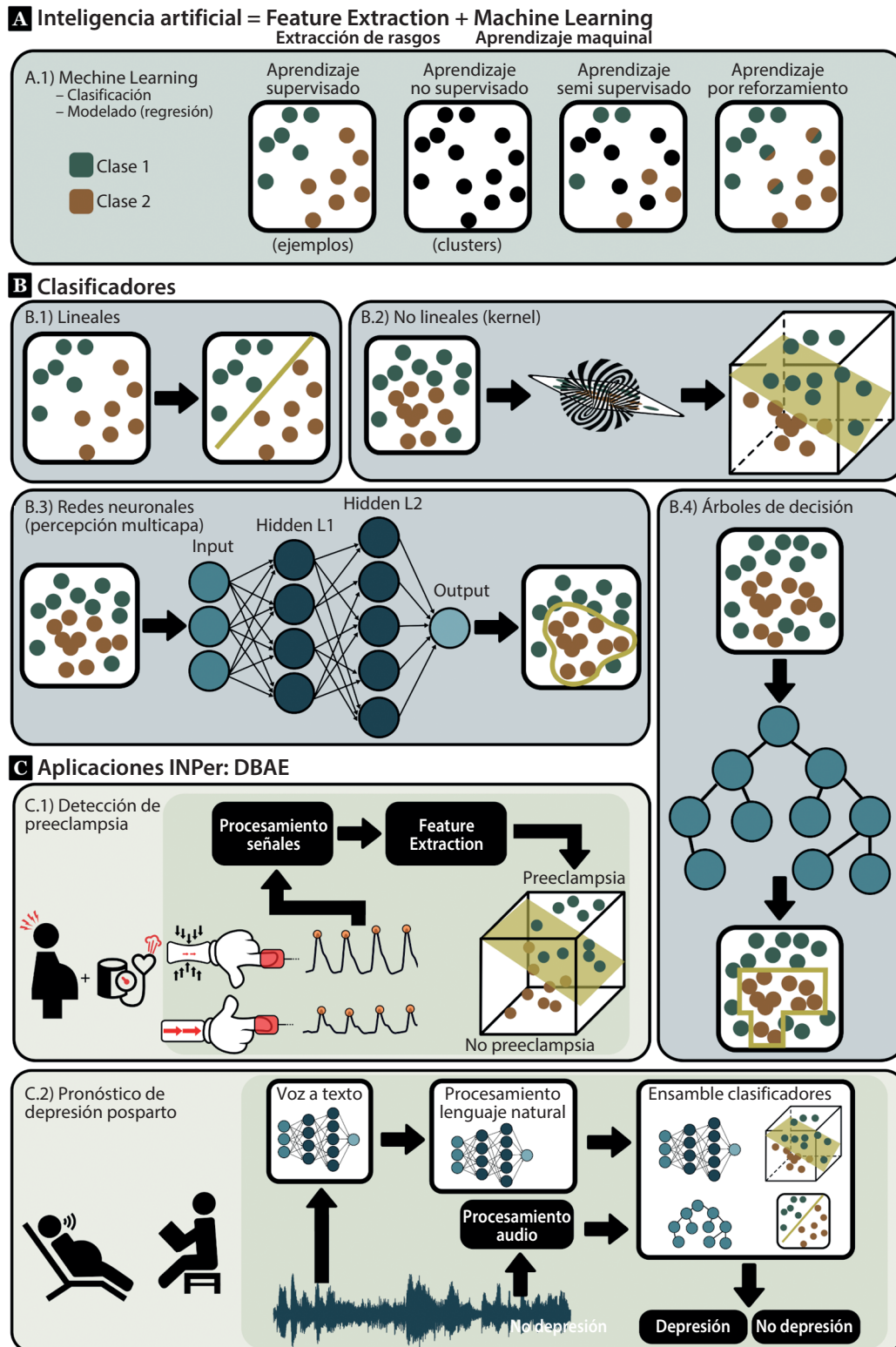


Figura 1. A) Muestra que la IA está compuesta del aprendizaje maquina (*machine learning*) y de la extracción de información o rasgos relevantes (*feature extraction*). Los paradigmas de *machine learning* que existen son: aprendizaje supervisado, aprendizaje no supervisado, aprendizaje semisupervisado y aprendizaje por reforzamiento. **B)** Ejemplos de sistemas aprendizaje supervisado aplicados para la tarea de clasificación: **B.1)** máquinas de soporte vectorial lineales; **B.2)** máquinas de soporte vectorial no lineales (utilizan una función llamada kernel); **B.3)** redes neuronales artificiales, cuando tienen más de tres capas (*hidden layers*), es lo que se conoce como aprendizaje profundo (*deep learning*); **B.4)** árboles de decisión. **C)** Aplicaciones realizadas: **C.1)** predicción de preeclampsia con base en análisis por IA de la morfología de las señales de pulso (obtenido con el método convencional de fotopleletismografía, PPG); **C.2)** utilización de métodos de IA para analizar la voz, de modo que, a través de dos mecanismos, el tono y lo que se dice, se pueda predecir si la futura madre tendrá o no depresión posparto.

sin embargo, el uso de estas herramientas tiene algunos detractores que postulan que los escenarios de donde se obtienen los resultados son ficticios y fabricados por un programa computacional que replica los experimentos en múltiples ocasiones para poder llegar a un objetivo, y que los parámetros para generar estos escenarios son modificables por el investigador que está realizando el proceso. Esto es posible sin duda, pero aquí entra la ética en investigación, pues si se manipulan deliberadamente las herramientas de análisis de datos para obtener el resultado deseado, en realidad no es la herramienta la que está fallando, sino el investigador que está realizando el trabajo.

Se ha propuesto que el uso de la IA en investigación puede tener algunos riesgos, entre de los cuales están:

- Daños al proceso de investigación con sesgos en el diseño, reclutamiento, determinación de objetivos o en la obtención de resultados debido a errores en los algoritmos que no tienen una validación adecuada.
- Mal uso de las herramientas de IA, por una malintencionada manipulación del algoritmo.
- Sesgos que perpetúan las desigualdades: cuando existe un error desde el diseño original del protocolo de investigación, como, por ejemplo, en el reclutamiento de pacientes.
- Falta de transparencia: cuando uno “entra” en las tripas del algoritmo sólo encuentra un cúmulo sucesivo de operaciones algebraicas con matrices numéricas, en las que el “entrenamiento” ha modelado una serie de parámetros de las operaciones, pero ninguno explica el resultado final al que se llegó. En otras palabras, muchos modelos de IA son una caja negra en la que no se sabe como se obtienen los resultados a partir de las entradas.
- Privacidad y seguridad: la IA añade un punto de estrés a esta preocupación, pues algunas personas, de forma maliciosa, pueden deducir información valiosa sobre la salud de un individuo para luego comercializarla o usarla de forma indebida.
- Brechas en la responsabilidad: la regulación en el uso de la IA en investigación va muy por detrás

de la tecnología y aún no es capaz de fincar la responsabilidad de un resultado, ya sea del algoritmo, o de la persona que lo utiliza.

- Obstáculos a la aplicación práctica de los algoritmos en el mundo real.

■ Aplicación de la IA en el estudio de la programación fetal

El concepto de programación fetal postula que, como un proceso de adaptación, la nutrición y otros factores ambientales alteran las vías de desarrollo durante el periodo de crecimiento prenatal, y se inducen cambios en el metabolismo y la susceptibilidad de los adultos a enfermedades crónicas como diabetes, síndrome metabólico, enfermedad coronaria, enfermedad renal, entre otras. En este sentido, los modelos basados en IA podrán ayudar a presentar análisis de datos y modelos de predicción que identifiquen elementos agresores en la etapa prenatal para poder identificar a los individuos que tengan mayor riesgo de desarrollar desenlaces crónicos no transmisibles, como diabetes, hipertensión, síndrome metabólico, enfermedad coronaria o renal, entre otras, con la finalidad de realizar estrategias de prevención. Recordemos que cuando hablamos de programación, nos referimos al riesgo o probabilidad de ocurrencia de un evento, pero no de un fenómeno definitivo de causa-efecto; por lo tanto, cuando tenemos el conocimiento de que un individuo tiene un alto riesgo de alguna enfermedad crónica transmisible, se pueden implementar estrategias para reducir o eliminar ese riesgo y evitar que se desarrolle tal desenlace.

El uso de la IA en la programación fetal nos ha dado grandes beneficios en las áreas clínicas y de investigación; por ejemplo, en la predicción del crecimiento que tendrá un feto durante toda la gestación o de cuál será el peso estimado del bebé al momento del nacimiento; en la detección de malformaciones; para determinar la edad real de un feto si no se cuenta con información para poder conocerla; en la identificación, por medio de antecedentes o variables relacionadas con salud metabólica, de la función placentaria e inflamación en el caso de las pacientes que desarrollarán preeclampsia, diabetes o

alguna otra complicación en el embarazo; para poder calcular la composición corporal de un recién nacido y hacer una proyección de cómo se comportará esta variable en los primeros años de vida, y en el análisis de los datos del nacimiento y de los primeros años de vida para identificar a los individuos con un mayor riesgo de presentar alteraciones metabólicas, sobrepeso y obesidad a corto, mediano y largo plazo.

Los primeros algoritmos de IA aplicada en la programación fetal se remontan a principios de este siglo y consistían en la identificación de estructuras fetales por medio de ultrasonido, en la medición automática de biometrías fetales y en la detección de malformaciones fetales por medio de *softwares* especializados. Posteriormente, estas herramientas fueron utilizadas para predecir complicaciones en el embarazo y fue hasta el 2020 cuando se comenzó a usar para predecir desenlaces relacionados con adiposidad, sobrepeso, enfermedades metabólicas en la infancia y adolescencia con base en mediciones de distintas variables al nacimiento, y de esta forma es como comienza su utilidad en el origen perinatal de las enfermedades del adulto.

Por su misma naturaleza, el uso de la IA en los procesos de programación fetal podría tener una aplicación mucho más amplia dado que, en su mayor parte, se trata de procesos de predicción de eventos con aplicación clínica. Imaginemos la utilidad que tendría el poder saber, al nacimiento, cuáles son los individuos que tendrán mayor riesgo de desarrollar diabetes, síndrome metabólico, sobrepeso u obesidad, y de esta forma poder establecer de forma temprana estrategias de prevención para evitar esos desenlaces.

La integración de la IA en la medicina materno-fetal y la obstetricia, y por lo tanto en la programación fetal, tiene el potencial de mejorar significativamente los resultados de un embarazo a corto, mediano y largo plazo, además de aumentar la eficiencia de la asistencia en salud y los planes de atención individualizada para cada paciente. A medida que evolucione la tecnología, es probable que los algoritmos de IA se vuelvan aún más sofisticados. Sin embargo, para implementar con éxito la IA en la medicina materno-fetal y la obstetricia, es necesario ir resolviendo du-



das con respecto a la interpretabilidad y fiabilidad de estas herramientas.

■ Consideraciones éticas y sociales del uso de análisis y herramientas de IA en programación fetal

■ En realidad, existe poca reglamentación en relación con el uso de la IA en investigación en general, y prácticamente ninguna en relación con la aplicación de herramientas de IA en investigación sobre programación fetal. En 2019 la Unión Europea publicó las *Directrices éticas para una IA fiable*, que tenían como objetivo promover el uso de herramientas de IA en investigación en salud, de forma confiable y responsable por parte de los investigadores.

Estos objetivos se pueden conseguir si su uso se sustenta en tres componentes de la IA: a) debe ser lícita, es decir, cumplir todas las leyes y reglamentos aplicables; b) debe ser ética, de modo que se garantice el respeto de los principios y valores éticos, y c) debe ser robusta, tanto desde el punto de vista técnico como social, con la cantidad de datos suficiente para realizar una inferencia.

En este escenario, la heterogeneidad de los datos médicos, el volumen, su complejidad, la interpretación de un médico y los análisis de sensibilidad y de especificidad deben ser tomados en cuenta cuando

se aplican sistemas de aprendizaje automático en el proceso de investigación. Previo a su publicación, se tienen que revisar los datos para, además de asegurar que son matemáticamente correctos, verificar su plausibilidad biológica para poder realizar una inferencia (García-López *et al.*, 2023).³

Futuro de los análisis y herramientas de IA en el estudio de la programación fetal

La IA presenta un gran potencial en el ramo materno fetal y ginecológico, ya que puede prever condiciones de morbilidad materno-fetal y, por tanto, puede aportar mucho en el estudio del origen perinatal de las enfermedades del adulto. El futuro en relación con el uso de la IA en la programación fetal va encaminado a la predicción y diagnóstico, desde etapas muy tempranas de la vida, de enfermedades que un individuo tiene mayor riesgo de desarrollar en el futuro, y así prevenir que se presenten condiciones patológicas. De esta forma, en realidad se le podrá dar a la IA una verdadera aplicación clínica y lograr un cambio en la salud de la población, consiguiendo la reducción de la prevalencia de las enfermedades crónicas no transmisibles, que siguen incrementándose en todo el mundo y particularmente en países en vías de desarrollo como México (Pacheco *et al.*, 2023).

Modelos en animales han demostrado que los efectos de una agresión, o un medio ambiente adverso durante la gestación, dan como resultado cambios epigenéticos y, por lo tanto, enfermedades que pueden ser transgeneracionales; es decir, que el individuo heredará a su progenie como factor de riesgo, perpetuando un ciclo en el que las enfermedades crónicas no transmisibles siguen incrementando su presencia en la población.

La IA podría ser de gran utilidad para identificar o clasificar, mediante modelos predictivos, cuáles son los cambios epigenéticos que podrían heredarse y así identificar a la población con alto riesgo de desarrollar alguna enfermedad en particular. De esta

forma podríamos determinar los factores agresores o programadores que solamente tendrán un efecto en el individuo que se está gestando y cuáles podrían ser heredados a las siguientes generaciones, conociendo así la gravedad, para evitar la exposición a dichos factores y tener un impacto en la prevalencia de estas enfermedades metabólicas.

Héctor Borboa-Olivares

Subdirección de Investigación en Intervenciones Comunitarias, Instituto Nacional de Perinatología.
drhectorborboa@gmail.com

Omar Piña-Ramírez

Departamento de Bioinformática y Análisis Estadístico, Instituto Nacional de Perinatología.
omar.pina@inper.gob.mx

Referencias específicas

- Ávila-Tomás, F., M. A. Mayer-Pujadas, V. J. Quesada-Varela (2020), "La inteligencia artificial y sus aplicaciones en medicina I: introducción, antecedentes a la IA y robótica", *Atención Primaria*, 52(10):778-784. Disponible en: <<https://www.elsevier.es/es-revista-atencion-primaria-27-pdf-S0212656720301451>>, consultado el 1 de noviembre de 2024.
- García-López, A., F. Girón-Luque y D. Rosselli (2023), "La integración de la inteligencia artificial en la atención médica: desafíos éticos y de implementación", *Universitas Médica*, 674(3). Disponible en: <<https://revistas.javeriana.edu.co/index.php/vnimedica/article/view/36231>>, consultado el 1 de noviembre de 2024.
- Joison, N., R. J. Barcudi, E. A. Majul, S. A. Ruffino y J. J. De Mateo Rey (2021), "La inteligencia artificial en la educación médica y la predicción en salud", *Revista Methodo*, Universidad Católica de Córdoba.
- Pacheco, J., I. Sandoval Díaz y J. Ramos-Castillo (2023), "Inteligencia artificial en la práctica de la ginecología, la investigación y redacción científica", *Revista Peruana de Ginecología y Obstetricia*, 69(4). Disponible en: <<https://doi.org/10.31403/rpgo.v69i2566>>, consultado el 1 de noviembre de 2024.



Novedades científicas
De actualidad
Noticias de la AMC