



## REVISIÓN

# Open-Source Artificial Intelligence in medical applications

## Inteligencia Artificial de Código Abierto en aplicaciones médicas

Gerardo Alberto Varela Navarro<sup>1</sup>  , Gladstone Oliva Íñiguez<sup>1</sup>  

<sup>1</sup>Universidad de Guadalajara, Departamento de Innovación en Gestión del Conocimiento CUGDL. Guadalajara, México.

**Citar como:** Varela Navarro GA, Íñiguez GO. Open-Source Artificial Intelligence in medical applications. *Seminars in Medical Writing and Education*. 2024; 3:486. <https://doi.org/10.56294/mw2024486>

Enviado: 03-10-2023

Revisado: 25-01-2024

Aceptado: 07-05-2024

Publicado: 08-05-2024

Editor: PhD. Prof. Estela Morales Peralta 

Autor para la correspondencia: Gerardo Alberto Varela Navarro 

### ABSTRACT

Free and Open-Source Software (FOSS) and open-source artificial intelligence (AI) models have emerged as transformative paradigms in the educational and medical fields, promoting innovation, transparency, and decentralized collaboration. This study analyzes their impact through a systematic literature review and the examination of emblematic case studies, such as the City of Hope National Medical Center, Zauron Labs, Gene Outlook, and Cardiomentor. In the educational realm, FOSS has facilitated the creation of adaptive and personalized learning environments, reducing operational costs and fostering active participation from students and educators. Platforms like Moodle and Sakai have revolutionized online course management, while initiatives such as MIT OpenCourseWare have expanded access to high-quality educational resources, promoting a culture of transparency and collaboration.

In the medical field, open-source AI models have demonstrated their potential to improve diagnostic accuracy and personalized care. For example, the sepsis prediction model developed by City of Hope enables continuous monitoring of immunocompromised patients, while Zauron Labs' Guardian AI reduces errors in medical imaging interpretation. These applications stand out for their flexibility and ability to adapt to specific needs, making them valuable tools for clinical practice and research.

**Keywords:** Open Source; Artificial Intelligence; Medical Applications.

### RESUMEN

El Software Libre y de Código Abierto (FOSS) y los modelos de inteligencia artificial (IA) de código abierto han emergido como paradigmas transformadores en los ámbitos educativo y médico, promoviendo la innovación, la transparencia y la colaboración descentralizada. Este estudio analiza su impacto mediante una revisión sistemática de literatura y el examen de casos de estudio emblemáticos, como el Centro Médico Nacional City of Hope, Zauron Labs, Gene Outlook y Cardiomentor. En el ámbito educativo, el FOSS ha facilitado la creación de entornos de aprendizaje adaptativos y personalizados, reduciendo costos operativos y fomentando la participación de estudiantes y docentes. Plataformas como Moodle y Sakai han revolucionado la gestión de cursos en línea, mientras que iniciativas como MIT OpenCourseWare han ampliado el acceso a recursos educativos de alta calidad, promoviendo una cultura de transparencia y colaboración.

En el campo médico, los modelos de IA de código abierto han demostrado su potencial para mejorar la precisión diagnóstica y la personalización del cuidado. Por ejemplo, el modelo predictivo de sepsis desarrollado por City of Hope permite la monitorización continua de pacientes inmunocomprometidos, mientras que Guardian AI de Zauron Labs reduce errores en la interpretación de imágenes médicas. Estas aplicaciones destacan por su flexibilidad y capacidad de adaptación a necesidades específicas, lo que las convierte en herramientas valiosas para la práctica clínica y la investigación.

**Palabras clave:** Código Abierto; Inteligencia Artificial; Aplicaciones Médicas.

## INTRODUCCIÓN

El Software Libre y de Código Abierto (FOSS [*Free and Open Source Software*], por sus siglas en inglés) representa un paradigma que trasciende lo técnico, encarnando una filosofía y un modelo innovador de colaboración tecnológica y cultural. Este modelo se distingue del software propietario por garantizar el acceso al código fuente, permitiendo a los usuarios no solo de ejecutar, sino también de poder modificarlo, compartirlo y redistribuirlo. Esta apertura fomenta la transparencia, la innovación continua y el control del usuario sobre la tecnología, fundamentando un modelo de producción colaborativa descentralizada, caracterizada por Benkler como “producción de pares basada en el beneficio común”, donde múltiples actores contribuyen voluntariamente al desarrollo de recursos tecnológicos y culturales.<sup>(1)</sup>

El origen del software libre surge en el ámbito académico y de investigación desde mediados de la década de los 50's, con proyectos como UNIX, impulsado por los laboratorios Bell y el Instituto Tecnológico de Massachussets (MIT), que permitieron a las instituciones educativas el acceso al código fuente. No obstante, entre los 70's y 80's, la restricción del código fuente generó tensiones en la comunidad de programadores. Esto impulsó a Richard Stallman a fundar el proyecto GNU en 1983, buscando preservar los principios éticos del software libre, basados en las libertades de ejecutar, estudiar, modificar y redistribuir el software. Linus Torvalds en 1991 adoptó un enfoque más pragmático con el lanzamiento del núcleo Linux, promoviendo un modelo de desarrollo abierto y colaborativo que Eric Raymond denominó “bazar”, caracterizado por ciclos rápidos de actualización y pruebas constantes, en oposición al modelo “catedral”, centralizado y jerárquico.<sup>(2)</sup>

Lo anterior refleja divergencias ideológicas dentro del movimiento FOSS. Stallman enfatizó una postura ético-política centrada en las libertades individuales y el valor social del software libre, mientras que Torvalds priorizó las ventajas técnicas y prácticas del desarrollo colaborativo. Esta última perspectiva llevó a la creación de la Iniciativa de Código Abierto (OSI) en 1998, que buscaba promover el software abierto en el ámbito empresarial, destacando sus beneficios técnicos sin el bagaje ideológico asociado al software libre.

En términos socioculturales, el FOSS ha democratizado el conocimiento tecnológico, fomentando la inclusión digital y reduciendo la dependencia de proveedores únicos. Sin embargo, el FOSS enfrenta desafíos prácticos, como la necesidad de infraestructura especializada y la integración con sistemas existentes, aunque su capacidad para superar estas dificultades se ha visto respaldada por comunidades globales sólidas y un creciente apoyo institucional.

Es entonces que el movimiento FOSS ha transformado significativamente el panorama tecnológico y social, promoviendo una visión colaborativa y democrática del desarrollo tecnológico. Su importancia radica en la defensa de la libertad de acceso al conocimiento y la colaboración abierta, fundamentales para la innovación tecnológica y un desarrollo social más inclusivo. Este trabajo busca impulsar la adopción y desarrollo de modelos de inteligencia artificial de código abierto en la comunidad médica, fortaleciendo las tareas de los profesionales de la salud.

## MÉTODO

Este trabajo se basó en una metodología que combinó la revisión sistemática de literatura y el análisis de casos de estudio para explorar el impacto del Software Libre y de Código Abierto (FOSS) y los modelos de Inteligencia Artificial (IA) de código abierto en los ámbitos educativo y médico. Se realizó una búsqueda exhaustiva en bases de datos académicas y repositorios de acceso abierto, utilizando términos clave relacionados con FOSS, IA de código abierto y sus aplicaciones en educación y medicina. Se incluyeron artículos en inglés y español, sin restricción de fecha, para abarcar tanto fundamentos teóricos como desarrollos recientes.

Los criterios de inclusión se centraron en estudios que abordaran aplicaciones de FOSS en entornos educativos y médicos, modelos de IA de código abierto y casos de estudio que ilustraran su implementación en instituciones de salud y educación. Se excluyeron trabajos que se enfocaran exclusivamente en software propietario.

Se seleccionaron casos de estudio emblemáticos, como el Centro Médico Nacional City of Hope, Zauron Labs, Gene Outlook y Cardiomentor, para analizar en profundidad su impacto en la práctica clínica, la investigación y la educación médica.

## DESARROLLO

El FOSS adquirió gran relevancia en el ámbito educativo, transformando la gestión administrativa y los procesos de enseñanza-aprendizaje. En el contexto administrativo, las instituciones educativas enfrentan desafíos relacionados con el incremento de costos y la eficiencia operativa. El FOSS emerge como una solución viable al eliminar la necesidad de licencias comerciales, permitiendo a las instituciones reasignar recursos hacia áreas críticas como infraestructura y soporte pedagógico. Esta reducción de costos facilita una inversión más estratégica en la mejora continua de los servicios educativos.

Además, la flexibilidad intrínseca del software abierto permite a las instituciones adaptar y personalizar sus herramientas tecnológicas según sus necesidades específicas. Esta capacidad es beneficiosa en áreas como la gestión de admisiones, el apoyo estudiantil con asistentes virtuales y la evaluación predictiva del rendimiento académico. Herramientas basadas en FOSS, como Moodle, Sakai y Dokeos, facilitan la creación de entornos de aprendizaje adaptativos, lo que contribuye significativamente a la eficacia educativa.<sup>(3)</sup>

Desde una perspectiva pedagógica, el FOSS ha impulsado un cambio hacia modelos de enseñanza centrados en el estudiante. Plataformas como Moodle han revolucionado la gestión de cursos en línea, fomentando una interacción dinámica entre estudiantes y profesores y promoviendo una experiencia educativa más participativa. El enfoque colaborativo inherente al FOSS también estimula la innovación continua, permitiendo la incorporación ágil de nuevas herramientas y mejorando constantemente los métodos y materiales didácticos.

Otro aspecto destacable del FOSS es su capacidad para fomentar comunidades activas de usuarios y desarrolladores, tanto dentro como fuera de las instituciones. Este modelo colaborativo no solo facilita la participación de estudiantes y docentes en la creación y mejora de herramientas tecnológicas, sino que también ofrece oportunidades significativas para el aprendizaje práctico y el desarrollo profesional. La comunidad global que respalda proyectos como Moodle y Sakai contribuye continuamente con innovaciones que mejoran la calidad del software, asegurando un apoyo sostenido y reduciendo los riesgos de discontinuidad.

Asimismo, iniciativas basadas en recursos educativos abiertos (OER) y currículos de código abierto (OSC) han ampliado el acceso a materiales educativos de alta calidad a nivel global. Proyectos como Curriki, Connexions y MIT OpenCourseWare permiten a instituciones y usuarios acceder, modificar y redistribuir contenidos sin restricciones económicas o legales, promoviendo una mayor equidad en el acceso a la educación.<sup>(4,5,6)</sup>

En términos de infraestructura tecnológica, el FOSS promueve la creación de sistemas más resistentes y escalables mediante arquitecturas abiertas y modulares. Esto facilita la integración de avances tecnológicos y reduce la dependencia de proveedores comerciales, permitiendo a las instituciones mantener su autonomía tecnológica y adaptarse con agilidad a los cambios del entorno digital.

Finalmente, desde una perspectiva sociocultural, el FOSS refuerza el ethos comunitario y colaborativo de la academia. Al eliminar las barreras impuestas por el software propietario, las instituciones pueden mantener el control sobre sus datos y procesos, fomentando un ambiente de transparencia y confianza. Este modelo no solo fortalece la capacidad institucional para compartir innovaciones, sino que también promueve una cultura de mejora continua en la educación, es así como la adopción del FOSS en el ámbito educativo no solo representa una decisión tecnológica, sino también una apuesta estratégica hacia una educación más abierta, inclusiva y democrática.

### **Inteligencia Artificial y código abierto**

Dentro de las múltiples aproximaciones al desarrollo tecnológico en Inteligencia Artificial (IA), se destacan dos grandes enfoques: las plataformas de código abierto (open-source) y aquellas plataformas cerradas o con elementos propietarios. Este ensayo explora detalladamente las definiciones, características, ejemplos y diferencias fundamentales entre ambas modalidades.

### **Definiciones y características de las plataformas de IA de código abierto**

La inteligencia artificial de código abierto se define como aquellas plataformas cuyos modelos, pesos y arquitecturas son accesibles públicamente. Esto implica que cualquier usuario puede inspeccionar, modificar y redistribuir libremente el software sin la necesidad de permisos especiales, promoviendo así la innovación y desarrollo impulsados por la comunidad.<sup>(7)</sup>

El software de código abierto debe cumplir ciertos criterios establecidos por la Open Source Initiative (OSI): distribución sin restricciones, disponibilidad del código fuente, posibilidad de realizar modificaciones y distribuir versiones mejoradas manteniendo las condiciones originales, ausencia de discriminación en su uso y tecnología neutral, entre otras características.<sup>(8)</sup>

Las plataformas abiertas suelen caracterizarse por su flexibilidad, adaptabilidad y capacidad de personalización, permitiendo modificaciones para adaptarlas a necesidades específicas.

Además, fomentan el desarrollo colaborativo, implicando a comunidades globales en el proceso de innovación continua, lo cual promueve actualizaciones rápidas y constantes mejoras.<sup>(8)</sup>

El FOSS introduce un modelo de producción colaborativa que favorece la innovación continua y fomenta el entendimiento y control tecnológico por parte de los usuarios, rompiendo con estructuras económicas y políticas tradicionales.<sup>(1,9)</sup>

### **Ejemplos relevantes de IA abierta**

Dentro de las diversas controversias que trajo consigo el surgimiento de la IA, desde noviembre de 2022, se ha discutido mucho en diversos sectores del quehacer humano acerca de las implicaciones sociales, económicas, éticas y tecnológicas que conllevan los impactos de este tipo de modelos e incluso que no debería ser del acceso en todos, pero aun así se desarrollaron esfuerzos para hacer modelos abiertos de código fuente, entre

los que destacan:

Llama y Mistral: plataformas de Meta y Mistral AI, respectivamente, con modelos y arquitecturas ampliamente accesibles para modificar, personalizar y distribuir.<sup>(9)</sup>

DeepSeek: plataforma china que ofrece modelos de lenguaje altamente competitivos, asequibles y adaptables, incluso rivalizando en rendimiento con modelos comerciales como ChatGPT.<sup>(7)</sup>

Moodle y Sakai: plataformas LMS ampliamente adoptadas en contextos educativos, que ofrecen personalización pedagógica, extensibilidad mediante plugins y son sostenidas por comunidades globales.<sup>(8)</sup>

### **Diferencias entre plataformas abiertas y cerradas**

Las plataformas tecnológicas pueden clasificarse en dos categorías principales: abiertas y cerradas. Las plataformas cerradas, también denominadas propietarias, como GPT-4 de OpenAI o Flamingo de Google DeepMind, se caracterizan por mantener su código fuente, modelos y datos de entrenamiento en un entorno restringido, lo que limita la capacidad de personalización y redistribución a los proveedores específicos.<sup>(7,10)</sup> En contraste, las plataformas abiertas ofrecen un acceso completo a su código y permiten modificaciones y adaptaciones según las necesidades del usuario, lo que las convierte en una alternativa más flexible y accesible.

Entre las diferencias más destacadas entre ambos tipos de plataformas, se encuentra la flexibilidad y personalización. Las plataformas abiertas permiten adaptaciones profundas y específicas, lo que resulta particularmente útil en contextos donde se requieren soluciones a medida. Por el contrario, las plataformas cerradas imponen restricciones significativas en cuanto a la personalización, ya que esta capacidad está controlada exclusivamente por los proveedores. En cuanto a costos y accesibilidad, las plataformas abiertas presentan una ventaja considerable al no requerir licencias comerciales, lo que las hace más económicas y accesibles, especialmente para instituciones educativas o proyectos de presupuesto limitado. En cambio, las plataformas cerradas suelen implicar costos iniciales y recurrentes más elevados, lo que puede representar una barrera para su adopción.

Otro aspecto relevante es la innovación colaborativa. Las plataformas abiertas fomentan la participación de comunidades globales en el desarrollo y mejora de las tecnologías, lo que acelera los avances tecnológicos a través de un modelo de colaboración continua. En contraste, las plataformas cerradas dependen del desarrollo interno de sus equipos corporativos, lo que limita la velocidad y diversidad de las innovaciones. En cuanto a seguridad y soporte técnico, las plataformas cerradas ofrecen un soporte técnico confiable y avanzado, mientras que las abiertas requieren que los usuarios o instituciones asuman esta responsabilidad directamente o contraten servicios comerciales de soporte.<sup>(10)</sup>

En la educación superior, las plataformas abiertas se han adoptado ampliamente para fines administrativos, académicos e de investigación. Ejemplos notables incluyen Moodle, Bodington, Claroline y Dokeos, que ofrecen una flexibilidad significativa en su implementación y administración. Estas plataformas han demostrado beneficios considerables en términos de personalización pedagógica, integración tecnológica y reducción de costos operativos. Por otro lado, las plataformas cerradas, aunque ofrecen ventajas en términos de soporte técnico y seguridad robusta, tienden a limitar la capacidad de adaptación independiente y generan una mayor dependencia del proveedor.<sup>(8)</sup>

La elección entre plataformas abiertas y cerradas depende de diversos factores, como los objetivos específicos de la institución, los recursos disponibles y las prioridades estratégicas. Es fundamental considerar aspectos como los costos totales, la capacidad técnica, la formación del personal en tecnologías de la información, las necesidades de personalización, los requerimientos de seguridad y las implicaciones éticas relacionadas con el uso y gestión de los datos.

En cuanto al impacto de la IA de código abierto, este ha sido significativo y multifacético, abarcando desde la economía hasta la educación y la investigación científica. La transparencia en la arquitectura y la accesibilidad de los componentes clave (código, datos y pesos del modelo) han democratizado el acceso a tecnologías avanzadas, impulsando una innovación acelerada y colaborativa. Desde una perspectiva económica, la adopción de modelos de IA de código abierto ha reducido considerablemente los costos asociados a la implementación y adaptación tecnológica, lo que ha permitido a instituciones educativas y pequeñas empresas acceder a soluciones avanzadas sin incurrir en los elevados costos de las plataformas propietarias. Esto ha facilitado una mejor asignación de recursos y ha promovido inversiones estratégicas en áreas como infraestructura tecnológica y capacitación del personal.

Además, la difusión de modelos abiertos ha incentivado la creación de ecosistemas tecnológicos innovadores, donde comunidades globales colaboran en la mejora y actualización continua del software. Este modelo comunitario ha generado un ciclo virtuoso de desarrollo, adaptación y distribución tecnológica, lo que ha contribuido a una evolución rápida y constante de la tecnología. Podríamos resaltar que las plataformas abiertas destacan por su transparencia, adaptabilidad, accesibilidad y potencial para la innovación comunitaria, mientras que las plataformas cerradas ofrecen ventajas en términos de soporte técnico y seguridad, aunque con limitaciones en la capacidad de adaptación independiente. La decisión final sobre qué tipo de plataforma implementar debe basarse en un análisis cuidadoso de las necesidades y recursos de cada institución u

organización.<sup>(7,8)</sup>

### **Impacto académico y educativo**

En el ámbito educativo, las plataformas abiertas de inteligencia artificial han generado transformaciones profundas. La accesibilidad de modelos abiertos ha permitido la personalización del aprendizaje mediante sistemas adaptativos que se ajustan a las necesidades específicas de cada estudiante, mejorando así la eficacia educativa y fomentando una participación activa del alumnado en su propio proceso formativo.<sup>(10)</sup>

Además, estos modelos han facilitado la generación de contenido educativo dinámico e interactivo, posibilitando a los docentes diseñar materiales que se adapten a las condiciones cambiantes del entorno académico y al nivel individual de desempeño de los estudiantes. Este uso ha estimulado no solo el aprendizaje efectivo, sino también el desarrollo de habilidades digitales avanzadas, esenciales para la inserción laboral y su participación en una sociedad cada vez más tecnológica.

### **Impacto en la investigación científica**

Los modelos abiertos han revolucionado también la investigación académica al facilitar el análisis avanzado de grandes volúmenes de datos. Las instituciones pueden utilizar estas tecnologías para automatizar procesos de revisión bibliográfica, análisis de patrones y generación inicial de borradores científicos, acelerando así el ritmo de la investigación y ampliando considerablemente el alcance y la profundidad de los estudios realizados.<sup>(7)</sup>

La transparencia que ofrecen los modelos abiertos ha mejorado significativamente la reproducibilidad y verificabilidad de los resultados científicos, aumentando así la calidad y la confianza en la investigación. Este aspecto es especialmente valioso en contextos donde la precisión y la transparencia son críticas, como la investigación médica, la biotecnología y el análisis social y económico.

### **Impacto social y ético**

Por otro lado, la apertura de estos modelos implica un reto considerable en términos de gobernanza y ética. Aunque el acceso abierto promueve la transparencia, también puede facilitar usos indebidos o maliciosos, lo que demanda una regulación cuidadosa y mecanismos claros de gobernanza.<sup>(11)</sup> No obstante, en comparación con modelos cerrados, las plataformas abiertas ofrecen un mayor potencial de transparencia y rendición de cuentas, características fundamentales para abordar estos riesgos de manera efectiva.

En conclusión, la aparición y difusión de modelos de inteligencia artificial basados en FOSS ha generado un impacto positivo profundo y transversal en diversas áreas, especialmente en la educación, la economía y la investigación. Aunque estos modelos presentan desafíos particulares en términos de gobernanza y control de riesgos, sus beneficios en cuanto a innovación acelerada, personalización del aprendizaje y democratización tecnológica son indiscutibles. La clave para maximizar estos beneficios radica en equilibrar adecuadamente la apertura y accesibilidad con una gobernanza efectiva que asegure usos responsables y éticos.

### **Modelos de Inteligencia Artificial Generativa de código abierto**

Los Modelos de Lenguaje de Gran Tamaño (LLM por sus siglas en inglés) de Inteligencia Artificial (IA) de código abierto, como Llama o DeepSeek, son de uso libre para su implementación de forma que las instituciones los puedan emplear, adaptar y perfeccionar, lo que democratiza el acceso a esta tecnología de vanguardia. Lo anterior es una gran ventaja en función que la mayoría de LLM desde su proliferación en noviembre de 2022 han sido con costo.

Este enfoque impulsa avances notables en la tecnología médica, la investigación sanitaria y demás ámbitos relacionados, facilitando que los académicos e investigadores estén logrando progresos fundamentales en la resolución de problemas complejos y de difícil tratamiento en pro del cuidado de la salud. Profesionales como desarrolladores e investigadores pueden descargar estos modelos y optimizarlos en sus propios sistemas.

Otra gran ventaja de utilizar los modelos de código abierto es la de no tener que subir datos a los servicios de IA, lo cual fortalece la protección y privacidad de información sensible de la salud de los pacientes. Los impactos de estas innovaciones no se limitan a lo científico, sino que también en lo económico, ya que se proyectan beneficios en la salud poblacional.

### **City of hope**

En el Centro Médico Nacional *City of Hope* utiliza actualmente tres modelos de inteligencia artificial diseñados en su centro de investigación: uno para identificar casos de sepsis, otro para prever complicaciones derivadas de intervenciones quirúrgicas y un tercero para estimar el riesgo de fallecimiento en un plazo de 90 días en pacientes bajo cuidados paliativos.

Estos modelos predictivos de inteligencia artificial se apoyan en el de Aprendizaje Automático (*Machine Learning*), un proceso computacional que implica entrenar algoritmos para detectar patrones a partir del análisis de masivas cantidades de datos extraídos de historias clínicas anónimas. Al contar con datos actualizados en tiempo real de los pacientes, tales como signos vitales, análisis de laboratorio, estudios de imagen, los modelos

calculan predicciones de estados de salud, producen evaluaciones de riesgo y proporcionan interpretaciones generadas por IA, lo cual facilita mucho el trabajo de los expertos en el cuidado de la salud.

Actualmente, la mayor dificultad no es el desarrollo de estos algoritmos, sino establecer los medios para obtener y analizar los datos de los pacientes en tiempo real, para dar respuestas rápidas y efectivas al equipo médico, además de monitorear y optimizar su efectividad.

Desde la perspectiva tecnológica, la solución consistió en integrar herramientas de IA con Epic, el sistema de registros médicos electrónicos de City of Hope, que constituye el entorno de trabajo natural de los procedimientos clínicos del personal del hospital.

En detalle de los tres principales modelos desarrollados, se describen los tres anteriormente mencionados:

- **Modelo predictivo de sepsis:** la sepsis, una complicación que puede llevar al fallecimiento asociada a infecciones, puede progresar rápidamente causando daños orgánicos graves, afectando de forma principal a pacientes de trasplante de médula ósea, quienes, tras tratamientos de quimioterapia o radiación poseen un sistema inmunológico suprimido. En estos casos se enfrenta un riesgo de entre 5 % y 10 % de desarrollarla, con alta probabilidad de desenlaces adversos. Estos pacientes inmunocomprometidos pueden no mostrar signos tempranos como fiebre, lo que complica su detección. Ryotaro Nakamura, hematólogo-oncólogo de City of Hope, propuso hace años emplear inteligencia artificial para predecir la sepsis en trasplantados, inspirado no por publicaciones científicas, sino por un artículo del Wall Street Journal sobre predicciones bursátiles. Aunque su idea inicial fue recibida con escepticismo, perseveró y, junto a Sanjeet Dadwal, jefe de Enfermedades Infecciosas, y el equipo de IA aplicada liderado por Eftekhari, desarrolló un modelo predictivo. Implementado en el hospital durante casi dos años, este sistema monitorea pacientes continuamente, asignando puntuaciones de riesgo basadas en la curva ROC. Alertas amarillas o rojas en el sistema Epic indican la necesidad de vigilancia intensiva y ajustes en tratamientos antimicrobianos. Dado que la sepsis puede surgir sin síntomas previos, este modelo de IA resulta crucial para anticipar y mitigar riesgos, ofreciendo una herramienta potencialmente salvavidas. La integración de la experiencia clínica y tecnológica ha permitido a City of Hope abordar un desafío crítico en la atención de pacientes vulnerables, demostrando el valor de la IA en la medicina actual.

- **Evaluación Predictiva de Complicaciones en Cirugía:** Lily Lau Lai, M.D., cirujana colorrectal del City of Hope, subraya la relevancia de prever complicaciones quirúrgicas, que incluyen desde hemorragias y heridas no cicatrizadas hasta neumonía, eventos cardíacos, discapacidades o el no deseado deceso. Lai argumenta que perfeccionar la identificación de pacientes con mayor susceptibilidad a complicaciones postoperatorias permite optimizar su estado previo a la cirugía y refinar el proceso de consentimiento informado para los involucrados y sus familias. Motivada por tal necesidad, Lai impulsó la creación de un modelo de IA orientado a predecir tales complicaciones. Aunque existen herramientas validadas para evaluar riesgos postquirúrgicos, estas no se ajustaban a las características de los pacientes de City of Hope. Lai indicó que la Calculadora de Riesgo Quirúrgico NSQIP, desarrollada principalmente con datos de pacientes no oncológicos, resulta imprecisa al abordar casos frecuentes en su institución, donde los procedimientos abarcan múltiples órganos simultáneamente. Lanzado en noviembre de 2021, el modelo de IA implementado en City of Hope ha demostrado ser una herramienta clave. Lai destaca su capacidad para analizar vastos volúmenes de datos, excediendo las posibilidades humanas, y generar puntuaciones de riesgo que respaldan decisiones clínicas fundamentadas, fortaleciendo así la práctica quirúrgica con un enfoque basado en evidencia.

- **Modelo de predicción de 90 días de mortalidad:** este modelo de IA para predecir la mortalidad a 90 días, codesarrollado por Finly Zachariah, M.D., especialista en cuidados paliativos, no resulta tan revolucionario como sugiere su primera impresión, pues la estimación de riesgos es práctica común entre clínicos para perfeccionar tratamientos y cuidados avanzados. Zachariah enfatiza que el objetivo es reflejar las prioridades del paciente, captadas mediante conversaciones y herramientas como *Prepare for Your Care*, de la Universidad de California en San Francisco, integrable en registros electrónicos. La California Healthcare Foundation revela que, aunque el 70 % prefiere morir en casa, solo el 32 % lo logra, frente a un 42% en hospitales, debido a la escasa comunicación médico-paciente (7 % frente a 80 % deseado). Así, se apoya a pacientes terminales en decisiones entre duración y calidad de vida, privilegiando su autonomía.

Además de los anteriores modelos actualmente, se desarrolla un modelo predictivo de la experiencia del paciente que incorporará diversas variables, como factores demográficos, socioeconómicos y barreras lingüísticas, junto con datos no siempre accesibles de inmediato para el equipo de atención sanitaria. Paralelamente, se diseñan modelos de IA destinados a entender aspectos desconocidos de las mutaciones genéticas y a mejorar la precisión en los análisis de imágenes médicas, ofreciendo posibles respuestas a las diferencias en la respuesta terapéutica entre pacientes con características clínicas y demográficas idénticas.<sup>(12)</sup>

### Zauron Labs

El Dr. Kal Clark, vicepresidente de informática en University of Texas Health San Antonio y es cofundador de Zauron Labs, ha recurrido al modelo de IA de código abierto Llama, creado por Meta, para diseñar una herramienta que ayuda a la tarea de interpretación de los radiólogos.

En este contexto, el Dr. Clark, respaldado por su trayectoria de más de 13 años como radiólogo, ha identificado en la inteligencia artificial de código abierto un medio para detectar errores en la interpretación de imágenes médicas, un área de especial relevancia.

Los radiólogos, según estimaciones, examinan entre 10,000 y 15,000 estudios de imagenología al año, lo que equivale a más de 50 revisiones diarias en una jornada laboral. Los errores asociados a esta actividad, inevitables en cierta medida, pueden ocasionar demoras en los tratamientos, prolongar el malestar de los pacientes y afectar negativamente los resultados clínicos a largo plazo. Clark destaca que, con cerca de tres mil millones de exámenes de imagenología realizados anualmente y una tasa de error del 4 %, el impacto recae sobre millones de personas.

Para enfrentar este desafío, los modelos de código abierto de IA ofrecen una vía para disminuir tales tasas de error. Hace aproximadamente un año, Clark participó en la fundación de Zauron Labs, donde se desarrolló Guardian AI, una herramienta basada en Llama que identifica posibles falsos negativos en imágenes médicas y los señala para una evaluación adicional, actuando como soporte técnico para los radiólogos.

El caso de Guardian AI refleja un debate en el desarrollo de software acerca de las virtudes del enfoque cerrado o comercial frente al de código abierto. Mientras algunos proveedores de servicios tecnológicos abogan por un control restringido que genera dependencia y costos elevados, el modelo de código abierto favorece la accesibilidad gratuita, la autonomía en la adaptación y la seguridad de los datos, promoviendo una distribución equitativa de oportunidades.<sup>(13,14)</sup>

### Gene Outlook

El proyecto desarrollado por OtonoCo, denominado Gene Outlook, se centra en el aprovechamiento de un LLM de código abierto para impulsar el descubrimiento científico y facilitar la obtención de información relevante, especialmente en el ámbito de la genómica.

Esta plataforma se especializa en la identificación y análisis de datos relacionados con genes específicos, particularmente aquellos vinculados con pacientes oncológicos. Al integrar tecnologías avanzadas basadas en modelos como Llama, OtonoCo transforma símbolos genéticos complejos en contenido claro y comprensible para científicos e investigadores.

Gene Outlook utiliza como núcleo de su funcionamiento un modelo ajustado específicamente a organismos llamado GeneTuned LLM. Este modelo fue creado por OtonoCo a partir del modelo base Llama con el objetivo de superar las limitaciones observadas en otros LLMs comerciales y de código abierto existentes, especialmente en relación con la precisión en consultas específicas sobre genes y organismos determinados. Hasta el momento, GeneTuned LLM ofrece un nivel elevado de precisión en cuatro organismos principales: humano, ratón, rata y mono rhesus, con planes de expansión hacia otros organismos tales como perros, gatos, hámsteres chinos, erizos de mar, peces cebra y moscas de la fruta.

La elección de utilizar modelos de código abierto es estratégica para OtonoCo, pues permite a los investigadores centrarse directamente en los problemas científicos sin preocuparse por desarrollar algoritmos completamente nuevos. De este modo, la empresa se concentra en evaluar la idoneidad de la tecnología de código abierto disponible según la naturaleza específica del problema de investigación. Actualmente, el ámbito de acción de Gene Outlook está expandiéndose más allá del estudio del cáncer hacia nuevas áreas relacionadas con la salud intestinal y el microbioma, demostrando así la versatilidad de su enfoque basado en la combinación de inteligencia artificial y aprendizaje automático.

En función de lo expuesto el proyecto de OtonoCo constituye un esfuerzo significativo por potenciar el ámbito de la investigación genómica mediante el empleo inteligente y adaptado de tecnologías abiertas de IA, permitiendo optimizar la obtención y el análisis de datos científicos complejos.<sup>(15)</sup>

### Cardiomentor

Es la primera aplicación pública española diseñada para el ámbito médico que se basa en IA. Esta innovadora herramienta médica aprovecha tecnologías avanzadas de inteligencia artificial de código abierto, especialmente modelos desarrollados por la comunidad científica que permiten análisis precisos y detallados.

Entre los modelos de IA open source utilizados en Cardiomentor destacan Stable Diffusion y Segment Anything Model (SAM). Stable Diffusion se utiliza principalmente para la generación y mejora de imágenes médicas, proporcionando una alta calidad visual y precisión diagnóstica. Por otro lado, el SAM, desarrollado por Meta AI, permite la segmentación precisa de imágenes médicas, facilitando la identificación de estructuras anatómicas relevantes para el diagnóstico y tratamiento de condiciones cardíacas.

La integración de estos modelos abiertos facilita actualizaciones constantes y fomenta un ambiente colaborativo, permitiendo que especialistas en cardiología e inteligencia artificial mejoren continuamente la

herramienta. Esta estrategia no solo disminuye costos operativos y tecnológicos, sino que también garantiza transparencia, generando confianza tanto en profesionales de la salud como en pacientes.

De esta manera, Cardiomentor ilustra eficazmente cómo la adopción de modelos abiertos de inteligencia artificial puede revolucionar el ámbito médico, brindando herramientas potentes y accesibles que mejoran la educación médica y optimizan la práctica clínica.<sup>(16)</sup>

## **DISCUSIÓN**

Los resultados de este estudio revelan que el FOSS y los modelos IA de código abierto constituyen un marco transformador con implicaciones profundas en los dominios educativo, médico y de investigación científica. La flexibilidad y accesibilidad inherentes al FOSS, como se evidencia en plataformas como Moodle y Sakai, facilitan la personalización de entornos de aprendizaje y la reducción de costos operativos, alineándose con los hallazgos de Benkler sobre la producción colaborativa descentralizada. Esta dinámica no solo democratiza el acceso a recursos tecnológicos, sino que también fortalece la autonomía institucional frente a las limitaciones impuestas por el software propietario.

En el ámbito médico, los casos analizados del City of Hope, Zauron Labs, Gene Outlook y Cardiomentor ilustran cómo la IA de código abierto potencia la innovación en dicho sector. El modelo predictivo de sepsis desarrollado por City of Hope, por ejemplo, demuestra la capacidad de la IA para integrar datos clínicos en tiempo real, mejorando la toma de decisiones en poblaciones vulnerables como los pacientes inmunocomprometidos. Asimismo, Guardian AI de Zauron Labs, también basado en Llama, subraya el potencial de los modelos abiertos para reducir errores diagnósticos en imágenes médicas, un área crítica donde la precisión humana se ve limitada por la carga laboral. Estos avances corroboran las observaciones de Haddad hechas en 2024 sobre la superioridad de las plataformas abiertas en términos de adaptabilidad y colaboración comunitaria frente a las soluciones cerradas.

Sin embargo, persisten desafíos significativos. La dependencia de comunidades globales para el soporte técnico y las actualizaciones introduce riesgos de discontinuidad, especialmente en contextos con recursos limitados. Además, la ausencia de regulación estandarizada en el uso de modelos abiertos plantea dilemas éticos, como el manejo de datos sensibles y el potencial de usos indebidos, tal como advierte Bommasani y otros.

<sup>(11)</sup> En contraste, las plataformas cerradas, aunque ofrecen mayor soporte y seguridad, restringen la innovación independiente y perpetúan la dependencia de proveedores específicos, un tradeoff que las instituciones deben evaluar cuidadosamente.

La comparación entre los enfoques ideológicos de Stallman y Torvalds, reflejada en la evolución del FOSS, también es relevante para la IA abierta. Mientras la perspectiva ética de Stallman enfatiza las libertades individuales como un fin en sí mismo, el pragmatismo de Torvalds prioriza la eficiencia técnica, un dualismo que se replica en el debate entre transparencia y funcionalidad en la IA médica. Este estudio sugiere que un enfoque híbrido, que combine la apertura colaborativa con mecanismos de gestión robustos, podría optimizar los beneficios del FOSS y la IA abierta en la salud, mitigando sus limitaciones.

En términos socioculturales, el FOSS y la IA abierta promueven una mayor inclusión digital y equidad en el acceso al conocimiento, como se observa en iniciativas como MIT OpenCourseWare y Gene Outlook. No obstante, la implementación exitosa requiere superar barreras como la capacitación técnica y la infraestructura, aspectos que demandan una inversión estratégica más allá de la adopción tecnológica per se.

## **CONCLUSIONES**

El análisis del Software Libre y de Código Abierto (FOSS) y los modelos de IA de código abierto destaca su rol como catalizadores de la innovación tecnológica y social en los ámbitos educativo y médico. Estos paradigmas no solo ofrecen soluciones económicamente accesibles y técnicamente flexibles, sino que también encarnan una visión ética de colaboración y transparencia que trasciende las limitaciones del software propietario. Los casos de estudio examinados confirman que la IA abierta, al democratizar el acceso a herramientas avanzadas, tiene el potencial de transformar la práctica clínica y la investigación sanitaria, mejorando la precisión diagnóstica y la personalización del cuidado.

No obstante, los beneficios del FOSS y la IA abierta están condicionados por desafíos prácticos y éticos que incluyen la sostenibilidad del soporte técnico, la seguridad de los datos y la necesidad de marcos regulatorios claros. La adopción estratégica de estas tecnologías por parte de la comunidad médica requiere equilibrar la apertura colaborativa con una gobernanza efectiva, asegurando que los avances tecnológicos se traduzcan en mejoras tangibles en la salud poblacional.

Este trabajo propone que la integración de modelos de IA de código abierto en la medicina no solo es viable, sino esencial para fortalecer las capacidades de los profesionales de la salud en un contexto de recursos limitados y demandas crecientes. Futuras investigaciones deberán explorar modelos híbridos que combinen lo mejor de los enfoques abiertos y cerrados, así como evaluar longitudinalmente el impacto de estas tecnologías en la equidad y la calidad de la atención sanitaria.

## REFERENCIAS BIBLIOGRÁFICAS

1. Benkler Y. Coase's Penguin, or, Linux and "The Nature of the Firm". *Yale law journal*. 2002;369-446.
2. Smith MJ. Collaborative, open, and automated data science. Massachusetts Institute of Technology; 2021.
3. Caguana DRM, González MJD, Reinoso GL. Innovación del modelo tecno-pedagógico inclusivo, a través de los entornos virtuales de aprendizaje (EVA & AVA). *Polo del Conocimiento: Revista científico-profesional*. 2021;6(3):622-35.
4. Curriki ACE. Open and Shared Educational Resources-A Collaborative Strategy for Advancing E-Learning Communities. 2011;
5. Zhu M, Kadirova D. Self-directed learners' perceptions and experiences of learning computer science through MIT open courseware. *Open Learning: The Journal of Open, Distance and e-Learning*. 2022;37(4):370-85.
6. Ali Y Ben. OPEN EDUCATIONAL RESOURCES (OER) AND EQUITABLE ACCESS TO KNOWLEDGE: PROMOTING ACCESSIBILITY AND INCLUSION. En: *International Conference "Actual economy: local solutions for global challenges"*. 2025. p. 336-69.
7. Williams R, O'Donnell J. We finally have a definition for open-source AI. *MIT Technology Review* [Internet]. el 22 de agosto de 2024 [citado el 5 de marzo de 2025]; Disponible en: <https://www.technologyreview.com/2024/08/22/1097224/we-finally-have-a-definition-for-open-source-ai/>
8. Lakhan SE, Jhunjhunwala K. Open source software in education. *Educause Quarterly*. 2008;31(2):32.
9. Raymond E. Linux and open-source success. *IEEE Softw*. 1999;16(01):85-9.
10. Haddad I. The Future Will be Open: Open as is Open Source AI [Internet]. 2024 [citado el 5 de marzo de 2025]. Disponible en: <https://techstrong.tv/videos/aie-2024/the-future-will-be-open-open-as-is-open-source-ai-with-dr-ibrahim-haddad-at-aie-2024>
11. Bommasani R, Klyman K, Longpre S, Kapoor S, Maslej N, Xiong B, et al. The foundation model transparency index. *arXiv preprint arXiv:231012941*. 2023;
12. Nunes M. City of Hope Web Page. 2022 [citado el 28 de febrero de 2025]. City of Hope pioneers the predictive power of artificial intelligence. Disponible en: <https://www.cityofhope.org/breakthroughs/city-of-hope-pioneers-the-predictive-power-of-ai>
13. Meta. As the AI race continues, open source models offer a path for all, not just the few. *New York Times* [Internet]. 2024 [citado el 2 de marzo de 2025]; Disponible en: <https://www.nytimes.com/paidpost/2024-meta-ai/2024-meta-ai/opensource-ai-innovation.html>
14. Zauron Labs. Acerca de Zauron. 2024 [citado el 2 de marzo de 2025]. Acerca de. Disponible en: <https://zauronlabs.com/about/>
15. OtonoCo. Fun Teaching Assistant & Patient-care | OtonoCo PTE LTD [Internet]. 2025 [citado el 5 de marzo de 2025]. Disponible en: <https://www.otonocoai.com/>
16. Pascual MG. Así es Cardiomentor, la primera aplicación pública basada en la IA española. *EL PAÍS* [Internet]. el 20 de febrero de 2025 [citado el 5 de marzo de 2025]; Disponible en: <https://elpais.com/tecnologia/2025-02-21/asi-es-cardiomentor-la-primer-a-aplicacion-publica-basada-en-la-ia-espanola.html>

## FINANCIACIÓN

Los autores no recibieron financiamiento para el desarrollo de la presente investigación.

## CONFLICTO DE INTERESES

Los autores declaran que no existe conflicto de intereses.

## **CONTRIBUCIÓN DE AUTORÍA**

*Conceptualización:* Gerardo Alberto Varela Navarro, Gladstone Oliva Íñiguez.

*Curación de datos:* Gerardo Alberto Varela Navarro, Gladstone Oliva Íñiguez.

*Investigación:* Gerardo Alberto Varela Navarro, Gladstone Oliva Íñiguez.

*Metodología:* Gerardo Alberto Varela Navarro, Gladstone Oliva Íñiguez.

*Redacción - borrador original:* Gerardo Alberto Varela Navarro, Gladstone Oliva Íñiguez.

*Redacción - revisión y edición:* Gerardo Alberto Varela Navarro, Gladstone Oliva Íñiguez.