



## INTELIGENCIA ARTIFICIAL: EVOLUCIÓN, APLICACIONES Y FUTURO

### Artificial Intelligence: Evolution, Applications and Future

Regina Rivera Delgado de Vela

Universidad Privada de Tacna  
Doctor en Medicina

#### RESUMEN

La Inteligencia Artificial (IA) es una disciplina que integra ciencia e ingeniería, con una trayectoria que se remonta a muchos años atrás. Sus inicios se ubican en el campo de la Medicina, a mediados del siglo XX. Desde entonces, ha experimentado un desarrollo acelerado, impulsado por el constante avance de los métodos, estrategias y herramientas informáticas y digitales. Esta evolución ha impactado positivamente en todos los niveles de atención médica, desde la primaria hasta la especializada, incluyendo la investigación de vanguardia. Los objetivos de la IA en el ámbito sanitario son diversos: ampliar la cobertura de atención, fomentar la autonomía del paciente, optimizar la eficiencia de la atención médica y brindar soporte en la toma de decisiones diagnósticas y terapéuticas, siempre en consonancia con las necesidades y preferencias de los pacientes. Sin embargo, es importante reconocer que la implementación de la IA también presenta desafíos, especialmente en lo que respecta a los aspectos éticos y de responsabilidad. Estos aspectos deben ser considerados en todos los procesos y por todos los actores involucrados, incluyendo a los Estados y Organismos internacionales, quienes tienen la obligación de velar por los derechos humanos y los valores fundamentales de la convivencia nacional e internacional.

**PALABRAS CLAVE:** atención primaria, función médica, hospital, inteligencia artificial, paciente, responsabilidad estatal

#### ABSTRACT

Artificial Intelligence (AI) is a discipline that integrates science and engineering, with a history that dates back many years. Its origins can be traced back to the field of Medicine, in the mid-20th century. Since then, it has experienced accelerated development, driven by the constant progress of computational and digital methods, strategies, and tools. This evolution has had a positive impact on all levels of medical care, from primary to specialized care, including cutting-edge research. The goals of AI in the healthcare field are diverse: to expand the coverage of care, promote patient autonomy, optimize the efficiency of healthcare, and provide support in making diagnostic and therapeutic decisions, always in line with the needs and preferences of patients. However, it is important to recognize that the implementation of AI also presents challenges, especially with regard to ethical and accountability aspects. These aspects must be considered in all processes and by all stakeholders involved, including States and international organizations, who have the obligation to uphold human rights and the fundamental values of national and international coexistence.

**KEY WORDS:** primary care, medical function, hospital, artificial intelligence, patient, state responsibility

## INTRODUCCIÓN

El presente artículo tiene como objetivo ofrecer una visión general de la Inteligencia Artificial (IA), un campo en constante evolución cuyo progreso y alcance son, en la actualidad, difíciles de precisar. Su impacto potencial, tanto en el ámbito médico como en el resto de la humanidad, puede ser tanto positivo como negativo, tal y como ha ocurrido con otros grandes descubrimientos científicos.

Desde una perspectiva positiva, la humanidad en general busca constantemente mejorar las condiciones de vida y facilitar el trabajo humano. La investigación, la generación de conocimiento y el desarrollo de tecnologías que potencian las capacidades humanas, haciéndolas más automatizadas, rápidas y eficientes, son fundamentales para alcanzar estos objetivos.

La IA es una disciplina que integra ciencia e ingeniería y que, mediante la aplicación de avances informáticos, busca reproducir el comportamiento inteligente del ser humano. Sin embargo, el aprendizaje de la IA es más intenso, automático y eficiente que el de la mente humana, la cual se desenvuelve mejor en la comprensión de un conjunto limitado de datos. La potencialidad de la IA como sistema inteligente radica en su capacidad para descubrir, razonar, aprender, adaptarse, tomar decisiones y actuar lógicamente para lograr sus propios objetivos o los de sus creadores, dentro de un entorno determinado (1-5).

Los diversos avances en Inteligencia Artificial (IA), especialmente en aprendizaje automático, aprendizaje profundo, redes neuronales y procesamiento del lenguaje natural, entre otros, dificultan la comprensión del funcionamiento de sus algoritmos. Sin embargo, estas tecnologías ya se encuentran presentes en la vida cotidiana de todos, desde el comercio electrónico y la industria aérea hasta el ámbito médico e incluso la guerra (2,6).

En el campo de la salud, la IA abre un abanico de posibilidades de aplicación aún por explorar, muchas de ellas desconocidas para el público general. Estas aplicaciones presentan tanto ventajas como desventajas en lo que respecta a su importancia y aplicabilidad científica y tecnológica, especialmente en un país en vías de desarrollo como el nuestro.

Es evidente que existe una gran explosión en el progreso, acceso y aplicaciones del conocimiento científico, la tecnología y la IA. En este artículo, se pretende ofrecer una breve visión histórica de la IA, su aplicación en otras áreas y, en mayor profundidad, en el ámbito de la Medicina. Sin embargo, es importante reconocer que esta revisión resulta limitada en comparación con la amplia realidad existente.

## METODOLOGÍA

Para desarrollar esta revisión, la cual tiene un enfoque más narrativo que sistemático, se consultaron diversas fuentes bibliográficas y motores de búsqueda, incluyendo Google Académico, Medline, Scielo y

Scopus. Las palabras clave utilizadas fueron: inteligencia artificial, atención primaria, función médica, paciente, hospital y responsabilidad estatal. La información recopilada se organizó en tres secciones principales: historia de la inteligencia artificial, aplicación de la inteligencia artificial en medicina ejercida en la atención primaria y especializada, y finalmente, problemas y desafíos de la aplicación de la IA en Medicina.

## RESULTADOS Y DISCUSIÓN

### Historia concisa

El estado actual de la Inteligencia Artificial (IA) es, sin duda, el fruto de una larga e intensa búsqueda emprendida por la humanidad. Desde la antigüedad, el ser humano ha soñado con crear seres artificiales capaces de realizar tareas inteligentes, ya sea a su imagen y semejanza o imitando el comportamiento de otras formas de vida. Esta fascinación ha dado lugar a un sinnúmero de teorías, creencias, promesas y esperanzas, alimentando la idea de que, con el apoyo de la ciencia y la tecnología, podríamos alcanzar nuevas génesis de clones y autómatas artificiales (3).

En su libro "Inteligencia Artificial, Principios y Aplicaciones", el ingeniero ecuatoriano MSc, PhD. Hugo A. Banda Gamboa (2014) ofrece una amplia visión histórica que abarca los antecedentes de la IA, su desarrollo, la evolución hacia la inteligencia computacional y, finalmente, los sistemas difusos y los agentes inteligentes. El autor señala que "la historia de la IA es una colección de mitos, fantasías, mecanismos, teorías y ensayos, y que, las ideas de máquinas inteligentes y las raíces intelectuales de la IA, aparecen en la antigua cultura griega y otras del medio oriente", de su publicación (3), solo citaré algunos hechos conocidos y fugaces, si se puede calificar así al efecto del paso de miles de años:

- Hefesto, dios del fuego que creó diversas criaturas como Talos, el gigante de bronce que Zeus dio a Europa para que fuese el guardián de Creta y las Kourai Khryseai, doncellas doradas autómatas de oro que atendían a Hefesto.

- La fundación de la lógica silogística por Aristóteles, siendo el Órganon el que reúne sus principales trabajos que constituyen la primera investigación sistemática acerca de los principios del razonamiento válido o correcto.

- En 1495 Leonardo Da Vinci en base a sus estudios de anatomía y kinestesia construyó un robot capaz de pararse, sentarse, caminar, abrir la boca, mover la cabeza y levantar los brazos.

- Durante la primera mitad del siglo XVI, el ingeniero italiano Giovanni Torriani construyó un autómata llamado "El Hombre de Palo" que era capaz de cruzar las calles de Toledo.

- El filósofo René Descartes (siglo XVII), plantea que el cuerpo de los animales puede describirse como máquinas complejas.

- Blaise Pascal (1642) crea la primera máquina calculadora digital mecánica, que suma y resta.

- El filósofo inglés Thomas Hobbes (1651) publica "The Levathan", donde presenta la teoría del pensamiento mecánico y combinatorio.

- Los británicos Charles Babbage y Ada Byron (Lady Lovelace) por los años 1830 diseñan una máquina calculadora programable mecánica.

- En 1983 George Boole desarrolla el álgebra binaria y publica An Investigation of The Laws of Thought (Una Investigación de las Leyes del Pensamiento).

- Alfred North Whitehead y Bertrand Russell (1910-1913) establecen las bases de la lógica formal y de la moderna lógica matemática.

- En 1920 se designan a los autómatas como robots.

- Warren McCulloch y Walter Pitts (1943) instituyen los fundamentos de las redes neuronales artificiales.

- En 1943 se acuña el término cibernética y en 1945 se propone el diseño de una computadora y se señala que asistirán a los humanos en el futuro.

- A partir de la histórica Conferencia de Dartmouth (1956), en la que participaron, entre otros, John McCarthy, Marvin Minsky, Claude Shannon, Allen Newell y Herbert Simon, se estableció el término IA y se ensayó la primera definición: "Hacer que una máquina se comporte como lo haría un ser humano, de tal manera que se la podría llamar inteligente".

- En 1970 Masahiro Mori describe la relación humano-robot como aceptable siempre y cuando el ser humano sea consciente que el robot es una máquina.

- En 1996 fueron inventados los cobots o robots colaborativos con un humano operante.

Asimismo, fruto de investigaciones predecesoras, y seguida por muchas otras que exponían avances progresivos de IA (3, 4, 7), con la incorporación y utilización de:

- Sistemas basados en símbolos e información.

- Aprendizaje automático (ML – machine learning) con algoritmos que permiten mejorar la precisión o predicción de grandes cantidades de datos de alta calidad.

- Aprendizaje profundo (DL – Deep learning), con algoritmos que utilizan modelos de redes neuronales para resolver problemas que superaban las capacidades del ML.

- Procesamiento del lenguaje natural (PNL – natural language processing), que en salud permite deducir trayectorias de información que incluyen biopsias virtuales, favoreciendo el diagnóstico de cáncer sanguíneo mediante secuenciación profunda. (INDUNI).

- Redes neuronales artificiales (ANN – artificial neural networks).

- Redes neuronales convolucionales (CNN – convolutional neural networks).

- Utilización del programa informático Chatbot, que comprende y simula automáticamente una conversación natural con personas, lo que en salud pudiera facilitar la recopilación de datos para diagnosticar, mejorar adherencia al tratamiento o educar al paciente en su autocuidado.

### Aplicaciones móviles para seguimiento.

Avances de ingeniería microelectrónica, computacional, lenguajes de programación y software, programas de backgammon, robótica de diferente naturaleza, inteligencia artificial distribuida, etc. (3).

Por otro lado, en 1951, se publica en Medline el primer artículo que utiliza el término MeSH (Medical Subject Headings) como descriptor para la búsqueda de información sobre IA. En este artículo se describen robots de investigación neurológica que tenían sistemas simples pero eficaces de intervención basados en el comportamiento (2).

En el desarrollo de la IA también han influido las tecnologías de la información y comunicación (TIC). Estas técnicas, utilizadas en la administración y transmisión de la información y comunicación, tienen su propia historia y han evolucionado hasta ser utilizadas en los ordenadores y programas necesarios para convertir, almacenar, administrar, transmitir y encontrar información.

Así, hace 5.000 años, egipcios y sumerios comenzaron a registrar información en soportes físicos transportables (jeroglifos, papiros, tablillas cuneiformes) que permitían establecer comunicación entre los seres humanos (8). De manera similar, nuestros jeroglifos (9) y quipus en la historia preinca del Perú (10) también sirvieron como medios de comunicación.

Los ideogramas y pictogramas evolucionaron a alfabetos y lenguajes gráficos diversos que, luego de la revolución agrícola, la tecnología y la ciencia en los dos últimos siglos, progresan a nuevos soportes y formas de transmitir el conocimiento, como el telégrafo con códigos e "hilos", seguido por las primeras "transmisiones inalámbricas" a través de la radio y posteriormente la televisión. En la segunda mitad del siglo pasado una nueva revolución en las comunicaciones genera el término de "Sociedad del Conocimiento", basado en las nuevas tecnologías de comunicación, de alcance mundial y acceso instantáneo, beneficiado por el desarrollo de satélites artificiales de comunicación, los que permiten la transmisión de señales de radio, televisión y códigos de datos en forma casi instantánea a cualquier lugar del planeta. Les siguen tres términos muy similares en el uso común, pero diferentes al momento de analizar su función, estos son; Red, Internet y Web, mientras el primero permite establecer una comunicación entre diferentes artefactos comunes (Computadores, módem, swith, router y otros), el segundo es un protocolo de comunicación (TCP/IP, WAP, WiFi entre otros) y el tercero son páginas de documentos e

hipertextos o hipermedios escritos en diferentes lenguajes (html, php, entre otros) accesibles a través del protocolo internet (8).

Como se ve, el avance de las TIC también colabora con la IA, particularmente en las ingenierías, que dicho sea de paso han dado sustento a la generación de formas autónomas de construcciones y estructuras de conocimiento que permiten a las máquinas la resolución de problemas, y en salud también (1,2).

### Aplicación en medicina

La inteligencia artificial (IA) basada en enfoques sistemáticos de expertos de tipo tradicional, con símbolos, información y aportes tecnológicos de la International Business Machines Corporation (IBM), ha permitido avances en los aspectos clínicos e indicaciones médicas de diversas especialidades como oftalmología, radiología, dermatología y otras (1). A partir de su aplicación a la biología básica, la farmacología y la medicina en general, se ha podido brindar a los pacientes información diagnóstica individualizada con mayor precisión y seguridad, comparable a la de expertos humanos (1, 7, 11-13).

Es una realidad que el hombre se ve cada vez más embebido en máquinas, normalizando una simbiosis que literalmente va en ambos sentidos: el ser humano utilizando la tecnología y las máquinas aprendiendo del ser humano. Se habla de una "cuarta era industrial, con tecnología de punta" que conjuga la convergencia de tecnologías digitales, físicas y biológicas. Sin embargo, esta convergencia implica limitaciones de implementación con conceptos y formas de abordar la medicina moderna, ya que los recursos físicos y humanos muchas veces se resisten a los cambios. No obstante, la experiencia y el "ojo clínico" velan siempre de manera subjetiva por la seguridad del paciente y por los buenos resultados. De todas maneras, desde Hipócrates hasta nuestros días, frente a la enfermedad, las personas necesitan de un cuidado que les brinde alivio, cualquiera sea la tecnología que para ello se utilice (14).

En farmacología, en particular, la IA ha sido utilizada desde la mitad del siglo pasado. La inteligencia aumentada, producto de la asociación de la IA y la inteligencia humana (IA + IH), ha permitido reducir progresivamente el tiempo medio requerido para el descubrimiento, estudios preclínicos y clínicos, aprobación y comercialización de un medicamento, de unos 16 años en promedio a solo 2 a 3 años, e incluso a 46 días para la síntesis y evaluación biológica de 6 inhibidores de cinasas del receptor DPP1 asociado a la fibrosis pulmonar. La IA contribuye con la predicción e identificación de blancos moleculares terapéuticos y asiste hasta la farmacovigilancia para estudiar, identificar y advertir efectos adversos de los fármacos. Evidentemente, los costos han disminuido, aun considerando los ensayos clínicos fallidos, y esto es producto del trabajo coordinado de equipos de investigación multidisciplinarios (15, 16).

### Atención primaria

La Atención Primaria (AP) se enfrenta a grandes

desafíos, especialmente en países como el nuestro, donde debe superar los retrasos en la implementación de avances científicos y tecnológicos, mientras la demanda de servicios de salud y la complejidad de las morbilidades aumentan debido al crecimiento poblacional en número y edad.

Para los países desarrollados, este desafío se ha abordado con prácticas innovadoras como la eSalud (eHealth), cuyo objetivo es solucionar necesidades médicas y sociales complejas en la atención primaria. Sin embargo, esta iniciativa enfrenta interrogantes como el costo-efectividad, la aceptación por parte de usuarios, pacientes y personal de salud, así como la respuesta política, la delincuencia cibernética y los aspectos éticos (17,18).

eSalud es un sistema de servicios sanitarios que, para mejorar la atención médica a través de aplicaciones móviles, brinda información, formas de pensar, actitudes, estados de ánimo y compromiso con el pensamiento general en red. Va más allá de informar, ya que también monitoriza, rastrea, utiliza, recopila y gestiona datos para apoyar la toma de decisiones médicas, adecuándolas a las necesidades de los usuarios (17). Estos procesos requieren compartir información a gran escala ("Big Data") entre la atención primaria, secundaria y los centros de investigación. Esto facilita su continua adecuación a las necesidades y contextos, que pueden tener diversos grados de cambio en el tiempo, y, por tanto, pueden proyectarse a nivel local, regional o mundial (11, 18, 19).

El estudio exploratorio de Shaw et al. (19), realizado en la Universidad de Sydney entre 2015 y 2016, identificó tres dominios prevalentes en eSalud a partir de entrevistas semiestructuradas a 21 expertos médicos y afines, sin la participación de usuarios de servicios de salud. Los dominios identificados son:

1. La salud en nuestras manos: No se trata solo de atención médica, sino también de salud y bienestar en general. El paciente toma el control y la responsabilidad de su salud utilizando internet y redes sociales en línea (blogs, Facebook, Twitter, YouTube, juegos sociales en línea, Second Life, etc.).
2. La interacción para la salud: Facilita la comunicación en tiempo real y virtual (Skype, videoconferencia) entre actores del ámbito sanitario, sin límites temporales ni geográficos. Permite la narración y discursos sociales, nuevas formas de interactuar para personalizar la atención con el apoyo de profesionales de la salud.
3. Datos que permiten la salud: Utiliza sistemas de gestión de datos recopilados en historias clínicas electrónicas, garantizando su reposición con precisión, integridad, calidad y estándares de información.

La Comisión Europea (17), en su comunicación sobre la habilitación de la transformación digital de la salud y la asistencia, establece seis condiciones para optimizar el desarrollo y la disponibilidad de aplicaciones electrónicas eficaces, automáticas, seguras e implementables para la atención primaria en salud:

1. TOGETHER (Juntos): La co-creación, con la

participación activa de las partes interesadas, quienes expresan sus comentarios, deseos y necesidades, es fundamental para el desarrollo e implementación de la eSalud. Esto garantiza su aceptabilidad, viabilidad y permite evaluar las rutinas de trabajo y los problemas potenciales.

2. **BLENDED (Combinada):** La combinación de atenciones virtuales y presenciales propicia la satisfacción tanto del paciente como del proveedor. Disminuye los tiempos de espera, aumenta la disponibilidad de datos de seguimiento, ahorra tiempos de consulta y permite una mayor atención directa a los pacientes que más lo necesitan.

3. **INDIVIDUAL E INCLUSIVE (Individual e inclusiva):** La información y la disponibilidad de datos diversos, como las características amplias de los pacientes y los factores ambientales, favorecen una atención centrada en la persona. Permite predecir e individualizar el tratamiento, supervisar su cumplimiento, propiciar el autocuidado, disminuir distancias geográficas y temporales entre médico o servicio de salud y paciente, etc. Experiencias como el aumento del control glucémico en Bangladesh y los "hospitales de internet" en China ya han demostrado el éxito de este enfoque.

4. **EVIDENCE – BASED (Basada en la evidencia):** La eSalud, basada en la evidencia proporcionada por la investigación continua y la orientación educativa, está disponible en línea, con aplicaciones seguras y rentables. Esto supone un seguimiento e investigación para su perfeccionamiento continuo. Sin embargo, la investigación actual presenta deficiencias en desarrollo y rigor científico. Los ensayos controlados y aleatorizados (ECA), que suelen tardar de cuatro a cinco años en publicar sus resultados, resultan desactualizados. Se requiere innovación con diseños de investigación rápida y concisa, como el "paradigma de investigación rápida y pertinente" propuesto por Glasgow. Este paradigma busca integrar la investigación en la práctica de la eSalud y las políticas, con periodos de estudio de 1 a 3 meses, que se repiten luego de procesos de evaluación y creación rápida de prototipos y refinamiento de la aplicación investigada. Los resultados se aprovechan y se vuelven a someter a investigación de eficacia comparativa, permitiendo así los aportes de las partes interesadas y el avance tecnológico. Esto amerita la educación formal sobre el uso de la eSalud para los proveedores de atención primaria, desde el pregrado y, evidentemente, para la población usuaria.

5. **ETHICAL (Ética):** La atención de las consideraciones éticas, la privacidad y la seguridad del paciente son preocupaciones primordiales. Se han identificado efectos adversos de la sanidad electrónica relacionados con la baja condición socioeconómica y el analfabetismo sanitario-digital de los pacientes, en particular de los mayores de edad y de alto riesgo. Los jóvenes sanos y con mayor nivel educativo son los que más fácilmente acceden a la sanidad electrónica. Esta brecha digital debe investigarse prioritariamente y abordarse en procesos de co-creación con los grupos en desventaja (17).

Aplicación de Big Data para citas médicas utilizando IA

Chatbot en los años 2012 – 2020" de José A. Chávez H. demuestra que su aplicación permite: reducir el tiempo de atención al paciente, conocer el crecimiento de las coberturas, reducir costos, mejorar la comunicación con el paciente, disponibilidad 24 x 7. Sin embargo, también señala que existen limitaciones como: limitaciones legales para la protección de datos personales, costos de implementación, inexpresividad de emociones. Concluye que esta tecnología trae más beneficios y ayuda a mejorar la vida de las personas de manera activa. Recomienda actualizar el estudio y evaluar su calidad (11).

Desde la atención primaria, la aplicación de la IA puede resultar ampliamente extensa. Por ejemplo, es factible abordar el problema del cáncer, ya que permite: evaluación de riesgos, detección temprana, derivación a hospitales especializados para un tratamiento personalizado, seguro y de vanguardia (1).

### Atención especializada

La investigación en IA biomédica aplicada ha demostrado que logra un beneficio similar al de los médicos expertos, particularmente en el campo del cáncer, permitiendo el ahorro de millones de dólares. Sin embargo, aún persiste la duda sobre si la IA puede reemplazar al médico profesional.

El avance desde la microscopía óptica hasta estudios laboratoriales más sofisticados como la secuenciación genética del siguiente gen o de próxima generación somática o germinal, ha sido facilitado por la IA en base a algoritmos, con aprendizaje automático (ML), aprendizaje profundo (DL), procesamiento del lenguaje natural (PNL) y utilización de datos proporcionados por los registros médicos electrónicos (EHR – Electronic Health Records). Esta asistencia puede ser aplicada en todos los niveles de atención e investigación, desde la estimación de riesgos, detección temprana, patología digital, biotecnología, radiología, genómica, nanotecnología, etc., permitiendo la optimización de la propuesta del régimen terapéutico combinado, con dosis adecuada y personalizada en quimioterapia e inmunoterapia, y hasta en el pronóstico (1).

La IA también se está aplicando a los estudios ecográficos, que a la fecha aún dependen de la experiencia del operador. Con la segmentación de redes neuronales convolucionales (CNN – Convolutional Neural Networks) en estudios de densidad mamaria, con principios de álgebra lineal y multiplicación de matrices, se podrá clasificar y reconocer 4 tejidos principales a partir de imágenes 3D: tejido graso, masa tumoral, tejido fibroglandular y piel. Lo cual podría facilitar la delimitación exacta del tumor, optimizando la precisión, con menos invasión, con menos afectación del tejido sano, minimizando efectos secundarios y por tanto incrementando la eficacia de la radioterapia del cáncer (1).

La biotecnología de avanzada ha permitido comprender las complejidades del comportamiento tumoral y del sistema inmunológico, la liberación y presentación de antígenos tumorales, la identificación de objetivos moleculares específicos, la activación de células T efectoras, la migración e infiltración de células T en

tejidos tumorales y el posterior reconocimiento y destrucción de células tumorales por estas células T activadas, entre otros aspectos que son propios de cada paciente (1). La nanotecnología ya ha permitido la disponibilidad para la venta de productos nanomédicos, biodispositivos, nanobiosensores, nanoportadores, máquinas biológicas que, en base a algoritmos avanzados, pueden predecir y modelar la cinética de liberación de fármacos a las interacciones complejas con las células tumorales (1).

En cuanto a la robótica quirúrgica (4), desde 1985 en que salió el PUMA 560 diseñado como guía para biopsia cerebral, hasta el robot estereotáctico que realiza procedimientos de estimulación cerebral profunda, neuroendoscopia, estereocencefalografía, y otros sistemas robóticos para cirugía maxilofacial, torácica, cardíaca, ortopédica, mínimamente invasiva, etcétera, etcétera, ha aportado precisión incisional, menor pérdida sanguínea, menor dolor y recuperación más corta, debido a la identificación de estructuras vitales y patológicas, tan útil en oncología, como en neurocirugía y cirugía ortopédica (5). Su utilidad es mayor cuando los órganos no se desplazan, y hay esfuerzos para el apoyo en la visualización de la aorta, los uréteres, hígado, bazo, páncreas y esófago, que son menos fijos en la cirugía abdominal, tanto por la manipulación de los planos de disección como por las presiones abdomino-torácicas que se modifican con el ciclo respiratorio. La cirugía robótica utilizada en próstata informa al cirujano los márgenes de resección, lo que le aporta más expectativas en la actualidad (1).

Con la robótica colaborativa ya se realizan pruebas y análisis de laboratorio, desde el recojo de muestras de sangre hasta la lectura de códigos de barras. También existen dispositivos robóticos que asisten a pacientes tetrapléjicos restaurando sus movimientos y hasta el control vesical. Son otras muestras de avance robótico las prótesis activas con electroestimulación, de rehabilitación, de almacenaje y distribución de medicamentos, de asistencia médica y de compañía en época de pandemia, etcétera, y cada vez más, con características de mayor humanización (3).

Evidentemente, el aporte más importante de la IA es en el reconocimiento de imágenes, con una precisión del 90 a 100% en la propuesta de diagnóstico clínico, por encima de las capacidades de médicos especialistas y del promedio de médicos, probablemente en relación a la habilidad de la IA para el aprendizaje no fatigable, en comparación a la fatigabilidad cognitiva humana. Sin embargo, en las sugerencias terapéuticas el rendimiento es semejante al de médicos expertos, en términos de errores, falsos positivos, sensibilidad y especificidad (2).

Hay mejoras en los algoritmos de tratamiento de enfermedades cardiovasculares, sistemas domiciliarios de terapia insulínica, evaluación en tiempo real de sonidos de deglución alterada, patrones de sueño, dermatoscopia digital, seguimiento e interpretación de la frecuencia cardíaca fetal durante el parto, monitorización ambulatoria de la presión arterial (Holter) y medición diaria de glicemias, etc., lo que

contribuye a una mayor satisfacción e independencia del paciente (2, 5, 13).

Otros aportes de la IA se encuentran en la identificación del shock séptico, el tratamiento de la enfermedad pulmonar crónica obstructiva (EPOC), el diagnóstico de retinopatía diabética y de cataratas infantiles. Las ventajas de un médico experto frente a la IA son reconocidas, y toda asistencia de IA se viene perfeccionando con técnicas de aprendizaje por transferencia, captura de voz con transcripciones, entre otras, con la finalidad de disminuir errores médicos en la toma de decisiones diagnósticas y terapéuticas, el análisis de imágenes en 3D, la predicción de resultados, la vigilancia de brotes epidémicos infecciosos, de enfermedades emergentes y reemergentes (2).

### **Gestión o administración de los establecimientos de salud**

La IA, además de ser útil en la atención médica y la toma de decisiones clínicas, también lo es en la administración y seguimiento de pacientes. Para precisar un poco más en este sentido, la IA (2) es aplicable en:

- La programación y priorización de pacientes para disminuir tiempos de espera.
- Facilitar el trabajo administrativo del médico durante la atención personalizada del paciente, al aplicar la tecnología de captura de voz y transcripción de datos a los registros médicos.
- Optimizar la atención de patologías médicas crónicas y complejas, facilitando terapias de precisión y reduciendo errores médicos, aspectos en los que la eficacia de la IA supera a la de los médicos.
- La disposición de sistemas de gestión hospitalaria que propicien la exactitud del diagnóstico clínico de patologías agudas y crónicas, su seguimiento y tratamiento óptimo, minimizando gastos con la utilización de logística a mayor escala.
- Propiciar la atención centrada en el paciente a menor costo.

### **Responsabilidades de los actores**

Dado que la aplicación de la IA implica un constructo colaborativo y progresivo, a partir de la captura de datos clínicos, se requiere establecer responsabilidades de quienes participan en la generación, utilización, aplicación, vigilancia, control e investigación de la Big Data que alimenta los procesos.

A) Pacientes: En el sistema de salud digital, se propicia la autonomía y responsabilidad de los pacientes sobre su autocuidado y estilo de vida, de tal manera que puede facilitar que los pacientes se involucren más en su propia atención. A veces, al margen de la atención médica presencial, ellos aprenden a reconocer su cuerpo, identificar síntomas, buscar opciones terapéuticas, establecer sus propios objetivos y decisiones para aceptar o no el asesoramiento e incluso cumplir con el tratamiento indicado. Esto es muy factible

en la atención primaria (17). Sin embargo, la autodeterminación mediada por la eHealth podría resultar nociva. Desde que puede ser arbitraria hasta propiciar el aislamiento social y sanitario, dar oportunidad a los simuladores y, por otro lado, pueden existir las limitaciones de las personas con bajo nivel cultural y educativo, particularmente en lo digital. Lo que podría conllevar un sesgo debido a datos de mala calidad, falta de representatividad en la Big Data y, por ende, en los algoritmos correspondientes (17).

B) Personal sanitario de la Atención Primaria: Al utilizar eHealth, telemedicina, sanidad electrónica o ciber salud, delegan su trabajo a una red de tecnologías y facultan a diseñadores, científicos de datos, pacientes u otros cuidadores a crear algoritmos, implementar tecnologías de monitorización remota, de triaje, en general a funciones que eran y son sus responsabilidades y que ahora comparten sin precisarlas. Es evidente que estos avances ayudan y fortalecen la toma de decisiones médicas, que deben continuar siendo compartidas con los pacientes, de acuerdo a sus preferencias. Pero con la virtualidad de por medio, puede llegar a alterarse la confianza y confidencialidad de la relación médico-paciente y tener repercusiones negativas sobre los principios y valores éticos médicos (17).

C) Institución de Salud: La tecnología electrónica en salud no es gratuita. Por lo tanto, debe ser adquirida a entidades de gran solvencia científica y tecnológica, lo que puede significar la necesidad de adquirir equipos y software de altísimo costo, además de la necesidad de capacitar a su personal en el uso adecuado de las mismas, respetando las normas éticas en la era digital (17). Es probable que la institución no cuente con presupuesto para estos fines.

D) Instituciones educativas: Antes y con mayor razón durante y después de la Pandemia del COVID-19, las instituciones educativas han incrementado la capacitación del personal docente en la enseñanza virtual. Esto se ha traducido en un cambio en la forma en que los estudiantes adquieren conocimientos, habilidades y destrezas, utilizando técnicas de Deep Learning como ChatGPT y DALL-E de OpenAI, Segment Anything Model (SAM) y LLaMA de Meta, y LaMDA de Google. Estas herramientas facilitan la reducción de la carga de trabajo de los docentes y posibilitan una enseñanza personalizada. Sin embargo, la principal desventaja está relacionada con la poca precisión o autenticidad del contenido creado por la IA, lo que amerita capacitación para detectar información errónea o de fuente de dudosa reputación científica (7).

Es necesario entonces que los programas curriculares de pre y posgrado en Medicina incorporen materias de informática, bioestadística y ciencias computacionales aplicables a la salud. Con la finalidad de que los médicos puedan construir sus propios algoritmos, diseñar la base de datos comprendiendo sus ventajas y limitaciones, y por ende, puedan utilizarlos con mayor convicción y seguridad. Esto les permitirá dedicar más tiempo a la atención de problemas complejos y al soporte emocional de los pacientes, algo que una máquina difícilmente podrá hacer de forma apropiada y fluida.

E) Gobiernos: Las autoridades gubernamentales deberían ocuparse de aspectos como la confiabilidad de la información personal extraída de las historias clínicas electrónicas por sistemas computarizados. Lo cual amerita normas estrictas que regulen la IA, la supervisen, la aprueben y además puedan esclarecer la asignación y determinación de la responsabilidad médico-legal cuando sucedan errores médicos. Desde ya existe un Reglamento General de Protección de Datos (GDPR – General Data Protection Regulation) (2, 18).

La Unión Europea ha sido la primera a nivel mundial en regular y dar la primera ley sobre IA, estableciendo limitaciones y hasta multas por uso indebido de la "identificación biométrica" que pone en riesgo la intimidad y ciberseguridad de los ciudadanos. En el mismo sentido, Estados Unidos ha reconocido la necesidad de regular la seguridad social, la responsabilidad legal y ética en la IA (20).

Por su parte, la UNESCO está promoviendo la construcción de acuerdos regulatorios y políticas nacionales e internacionales que promuevan conductas éticas en el uso de la IA (21).

En diversos países, a raíz de la pandemia del COVID-19, se utilizaron chatbots para informar, atender, monitorear y controlar a los pacientes que enfermaron. Sin embargo, no se ha evaluado el uso de los datos generados más allá de la investigación clínico-epidemiológica ni tampoco se ha determinado cuánta población no pudo acceder a este beneficio en momentos de gran aislamiento social. En este mismo contexto, la Organización Mundial de la Salud (OMS) utilizó la misma herramienta para difundir recomendaciones e información al respecto (21).

En el Perú, sucedió lo propio y el 5 de julio del 2023 se promulgó en el diario oficial El Peruano la Ley N° 31814, Ley que promueve el uso de la Inteligencia Artificial (IA) en favor del desarrollo económico y social del país. En dicha ley se señalan principios para su desarrollo y uso, entre los que figuran: estándares de seguridad basados en riesgos, enfoque de pluralidad de los participantes, de gobernanza por internet, sobre la sociedad digital, el desarrollo ético y la prohibición de transgredir la privacidad de los ciudadanos o vulnerar la ciberseguridad nacional (22).

### **Problemas y desafíos de la inteligencia artificial en medicina**

Los principales problemas y desafíos que enfrenta la IA están en relación fundamental sobre investigación a futuro sobre nuevos descubrimientos y sobre sí misma sin postergar los aspectos éticos, por separado y combinados.

Los principales desafíos emergen de las investigaciones en Medicina, en particular las relacionadas a las terapias génicas y el análisis bioinformático, cuyo objetivo es incrementar la personalización terapéutica cuyas limitaciones están en los altísimos costos de alrededor de dos millones de

dólares por paciente, la poca rentabilidad, las reacciones adversas graves y los resultados inciertos en los estudios de fase dos y tres (23,24). Citaré algunos de ellos, entre los más conocidos y publicitados como:

La edición de genomas utilizando la tecnología Clustered Regularly Interspaced Short Palindromic Repeats (CRISPR = Repeticiones palindrómicas cortas agrupadas y regularmente espaciadas) que permite excluir, añadir o substituir, es decir, modificar con precisión partículas de ADN, ejemplo, la terapia Casgevy-Cas9 para el tratamiento de la anemia falciforme (hemoglobina S), en la que las células madre del mismo paciente, pero fuera de él, son genéticamente modificadas y luego de quimioterapia a altas dosis con fines mieloablactivos, son infundidas como parte de un trasplante de células madre hematopoyéticas, proceso similar que se ha aplicado a la misma enfermedad con Lyfgenia que utiliza un vector lentiviral para la modificación genética, ambos productos tienen eventos adversos relativamente llevaderos, a excepción de Lyfgenia que ha inducido malignidad hematopoyética (23, 24).

Entre otras aplicaciones de la tecnología CRISPR están: Betatalasemia: Reducción de la cadena beta – CRISPR-Cas9 o Cas 12, infección urinaria bacteriana crónica: CRISPR-Cas3, enfermedades de plegamiento de proteínas, amiloidosis hereditaria por transtiretina, enfermedad de Alzheimer, enfermedad de Parkinson. (CRISPR-Cas9), enfermedad inflamatoria: Angioedema hereditario (CRISPR-Cas9).

Cánceres: células T editadas autólogas o alogénicas en leucemias y linfomas - “como puente hacia los trasplantes de células madre”, carcinomas de riñón y tumores sólidos, linfomas no Hodgkin agresivos, leucemias de células B refractarias (CAR19), cáncer de mama y pancreático. (Lamentablemente, no solo hay que luchar contra el cáncer sino también contra el mismo sistema inmunológico del paciente que puede rechazar las células CAR-T (25).

La enfermedad cardiovascular también ha concitado atención: Se está editando el gen PCSK9, que conduce a la hipercolesterolemia familiar, mediante nanopartículas lipídicas con la tecnología CRISPR. Se está ensayando experimentalmente la edición del ADN del VIH con la proteína Cas9. En la Diabetes tipo 1: Se ha utilizado CRISPR para implantar células pancreáticas obtenidas a partir de células madre, pero la investigación está en suspenso. También está en el interés investigador: La terapia de células CAR-T autólogas sin edición genética en el Lupus Eritematoso Sistémico. La apertura de opciones para otras enfermedades raras. Se espera que los logros en este sentido sean mucho más rápidos y menos onerosos (25).

Existe incertidumbre en cómo la gran cantidad de datos es utilizada para darle precisión a la predicción y diagnóstico de enfermedades. ¿Cómo se asegura la calidad de datos, la ponderación de los distintos parámetros y la construcción de los algoritmos? Esta

incertidumbre ha sido conceptualizada como “caja negra” (18).

Los avances son prometedores, sin embargo, resultan difíciles de aplicarlos en el ámbito clínico, especialmente si se desconfía de los algoritmos. Frente a esto, está emergiendo la IA explicable (XAI) para explicar las predicciones y permitir a los médicos aprender a aplicar el método predictivo de forma transparente a través de interfaces que permiten preguntas como “por qué”, “por qué no”, “qué pasaría si”, “cómo sería eso” y “cómo seguir”, es decir, poder crear instancias y comprender cómo el modelo predictivo obtiene los resultados (26).

Como se ha mencionado en varios párrafos anteriores, desde la recopilación de big data, la creación de algoritmos, el uso fuera de las intenciones éticas médicas, la exclusión de personas de mayor edad, analfabetas, pobres y otros aspectos, son parte de interrogantes que deben ser sometidos a investigaciones éticas interdisciplinarias a través de todo el proceso de generación y aplicación de la IA (18). Más allá de la investigación, una vez implementada la sanidad electrónica, dada la autonomía del paciente sin consentimiento informado, con la credulidad o aceptación médica o no, y con la poca o defectuosa implementación institucional, ¿cómo se van a identificar responsabilidades? ¿Será necesaria una reformulación de normas, de principios morales de la ética médica y de otras disciplinas?

Arguelles ha postulado que las principales preocupaciones éticas de los gobiernos deberían centrarse en la responsabilidad sobre la toma de decisiones automatizada, la privacidad de los usuarios, la inclusión de los pacientes menos favorecidos, la determinación de quiénes deben controlar la IA, la transparencia de los sistemas y la confianza al excluir datos incorrectos e incompletos, a fin de minimizar los riesgos (21).

Viveros por su parte señala que, entre los elementos de responsabilidad estatales, están el comportamiento de todos los niveles, desde las altas autoridades hasta los que tienen que vigilar, controlar, impedir o sancionar el comportamiento propio y de particulares extranjeros o nacionales. Siendo el ser humano la imagen y el objetivo central de dicha responsabilidad (27).

## Conclusiones

1. La inteligencia artificial tiene precedentes históricos dignos de considerar en la evolución del ser humano como tal y en sus esfuerzos por superar limitaciones e ir más allá de la satisfacción de necesidades básicas y estilos de vida. Su objetivo es lograr superar problemas ambientales, así como enfermedades de diverso tipo, con el ahorro de esfuerzo humano y la utilización del avance científico y tecnológico para acelerar y enriquecer resultados.

2. En medicina, la aplicación de la IA data de mediados del siglo pasado. Se inició con enfoques sistemáticos de médicos expertos tradicionales y la utilización de

aportes tecnológicos con el objetivo de incrementar la precisión y seguridad en los diagnósticos y prescripciones. Es decir, máquinas aprendiendo del ser humano.

3. El progreso de la IA en la medicina ha sido consecuencia del progreso de otras disciplinas no médicas. Esto está permitiendo ampliar coberturas de atención y mayor resolución desde la atención primaria hasta la especializada. Ha acelerado la consecución de alternativas terapéuticas más esperanzadoras para las enfermedades agudas, crónicas, congénitas, infecciosas, postraumáticas, oncológicas, degenerativas, etc.

4. La IA no solo aporta beneficios, también puede generar riesgos. Entre estos se encuentran la poca protección a la privacidad, la complejidad, la irregular objetividad y otros aspectos relacionados con el uso inadecuado de los agentes que intervienen en todo el proceso, desde la generación hasta la aplicación de la misma.

5. Las propias investigaciones en el contexto de la IA tienen aspectos positivos como negativos. En el futuro se podrán tener mejores resultados cuando se apliquen metodologías de investigación más rigurosas, éticas y controladas.

6. Los avances en genómica vienen teniendo muchas expectativas. Así como se informan resultados positivos en los primeros estudios, conforme avanzan las fases de investigación, también se informan resultados inciertos y hasta negativos.

7. La identificación de responsabilidades sobre la generación, aplicación y efectos de la IA en medicina aún no está bien concientizada y definida. Este defecto será crucial cuando se requiera delimitar responsabilidades sobre eventos adversos, errores médicos, retardo en la atención y hasta la muerte que pueda o no estar relacionada con estos últimos.

8. Las responsabilidades se extienden desde los niveles educativos de la población, la formación de profesionales y técnicos, los servicios de salud, los fabricantes, hasta los gobiernos y las instituciones internacionales. Todos ellos deben velar por el respeto a los derechos humanos y la ética en todos los aspectos psicosociales, económicos, medioambientales, etc., que se vean o no influidos por la IA.

## REFERENCIAS BIBLIOGRÁFICAS

- Induni N, Weeraratna, Aashash R, Kamble, Anurag Luharia. *Aplicaciones de inteligencia artificial para la investigación biomédica del cáncer: una revisión*. DOI: 10.7759/cureus.48307. Publicado en línea el 5 de noviembre de 2023. Disponible en <https://www.ncbi.nlm.nih.gov/pmc/articles/PMC10697339/>
- Singareddy S, Prabhu V, Jaramillo A, Yasir M, y cols. *Inteligencia artificial y su papel en el manejo de condiciones médicas crónicas: una revisión sistemática*. DOI: 10.7759/cureus.46066. Publicado en línea el 27 de septiembre de 2023. <https://www.ncbi.nlm.nih.gov/pmc/articles/PMC10607642/>
- Banda Gamboa H. *Inteligencia Artificial. Principios y Aplicaciones*. <https://www.researchgate.net/publication/26248745>
- Ávila-Tomás JF, Mayer-Pujadas MA, Quesada-Varela VJ. *La Inteligencia artificial y sus aplicaciones en medicina I: Introducción Antecedentes a la IA y robótica*. *Atención Primaria*. 2020; 52(10):778-84. <https://doi.org/10.1016/j.aprim.2020.04.013>
- Ávila-Tomás JF, Mayer-Pujadas MA, Quesada-Varela VJ. *La Inteligencia artificial y sus aplicaciones en medicina II: Importancia actual y Aplicaciones Prácticas*. *Atención Primaria*. 2021; 53(1):81-8. <https://doi.org/10.1016/j.aprim.2020.04.014>
- Subhan Ali, Filza Akhlaq, Ali Imran, Zenun Kastrati, Sher Muhammad Daudpota, Muhammad Moosa. *El papel esclarecedor de la inteligencia artificial explicable en los ámbitos médico y sanitario: una revisión sistemática de la literatura*. *Computadoras en biología y medicina*. Vol 166, (2023), 107555. <https://doi.org/10.1016/j.compbimed.2023.107555>
- Ruibal-Tavares E, Calleja López J, Rivera Rosas C, Aguilera Duarte L. *Inteligencia artificial en medicina: panorama actual*. *REMUS Núm. 10, julio - diciembre 2023* pág 21-31. DOI: 10.59420/remus.10.2023.178. [https://www.researchgate.net/publication/377018265\\_Inteligencia\\_artificial\\_en\\_medicina\\_panorama\\_actual](https://www.researchgate.net/publication/377018265_Inteligencia_artificial_en_medicina_panorama_actual)
- Calandra Bustos P. *Conociendo las TIC*. Repositorio.uchile.cl > 120281 >. <http://www.agren.cl>
- Klokoenik J, Vítek F, Klokoenikova Z, Rodriguez A. *LOS GEOGLIFOS DE NAZCA, PERÚ*. *BIR A 29 (Lima): 13-29 (2002)*. <https://repositorio.pucp.edu.pe/index/bitstream>
- Huamanchumo de la Cuba O. *El quipu colonial. Estudios y materiales. Fronteras de la historia*. Vol. 20, No.1, pp. 237-242, enero-junio de 2015 Lima: Pontificia Universidad Católica del Perú 2013 | isbn: 9786124146275-444 pp.
- Chávez Huamán J. "Aplicación de big data para citas médicas utilizando IA chatbot en los años 2012 - 2020, una revisión sistemática de la literatura científica". Trabajo de investigación para optar al grado de: Bachiller en Ingeniería de Sistemas. repositorio de la Universidad Privada del Norte. <https://repositorio.upn.edu.pe/handle/u1537/26046>
- Barea Mendoza J, Valiente Fernández M, Pardo Fernández A, Gómez Álvarez J. *Perspectivas actuales sobre el uso de la inteligencia artificial en la seguridad del paciente crítico*. Visto el 09-05-2024 en <https://www.sciencedirect.com/science/article/abs/pii/S021056912400086X>
- Lanzagorta-Ortega D, Carrillo-Pérez DL, Carrillo-Esper R. *Inteligencia artificial en medicina: Presente y Futuro*. *Gaceta Médica de México*. 2023;158(91). <https://doi.org/10.24875/gmm.m22000688>
- Basáez E, Mora J. *Salud e inteligencia artificial: ¿cómo hemos evolucionado?*. *Rev. Med. Clin. Condes - 2022*; 33(6) pags. 556-561. <https://www.journals.elsevier.com/revista-medica-clinica-las-condes>
- Saldivar-González, F, Fernández-de Gortari, E. y Medina-Franco, J. *Inteligencia artificial en el diseño de fármacos: hacia la inteligencia aumentada*. *Educación Química, (abril-junio 2023)* 34(2), 17-25. <https://doi.org/10.22201/fq.18708404e.2023.2.83233>
- Ridge B. *El uso de la inteligencia artificial en medicina: una perspectiva informada*. visto el 5-4-24 en <https://www.mediummultimedia.com/apps/como-se-usa-la-inteligencia-artificial-en-medicina/>
- Van der Kleij R, Kasteleyn M, Meijer E, Bonten T, Houwink E, y cols. *SERIE: eSalud en atención primaria. Parte 1: Conceptos, condiciones y desafíos*. *Eur J Gen Pract* .Octubre de 2019; 25 (4): 179-189. DOI: 10.1080/13814788.2019.1658190. <https://pubmed.ncbi.nlm.nih.gov/31597502/>
- Boers S, Jongsma K, Lucivero F, Aardoom J, Büchner F, de Vries M. *SERIE: eSalud en atención primaria. Parte 2: Explorando las implicaciones éticas de su aplicación en la práctica de la atención primaria*. *Revista Europea de Medicina General*, vol 26, (1) págs. 20-32 2020 26-32 | Recibido 12 Abr 2019, Aceptado 07 Oct 2019, Publicado en línea: 30 Oct 2019. <https://doi.org/10.1080/13814788.2019.1678958>
- Shaw T, McGregor D, Brunner M, Keep M, Janssen A, Barnet S. *¿Qué es la eSalud (6)? Desarrollo de un Modelo Conceptual para eSalud: Estudio Cualitativo con Informantes Clave*. *J Med Internet Res* 2017; 19(10):e324. doi:10.2196/jmir.8106. <https://www.jmir.org/2017/10/e324/>
- Parra S. *Los avances y controversias de la Inteligencia Artificial 2023*. Visto en [https://www.nationalgeographic.com.es/ciencia/avances-y-controversias-inteligencia-artificial-2023\\_21268](https://www.nationalgeographic.com.es/ciencia/avances-y-controversias-inteligencia-artificial-2023_21268)
- Arguelles Toache E, Amaro Rosales M. *Preocupaciones éticas en el uso de la Inteligencia artificial, transparencia y derecho de acceso a la información. El caso de los chatbots en el gobierno de México, en el contexto de la Covid-19*. <https://revistas.juridicas.unam.mx/index.php/derecho-informacion/issue/archive>
- Ley N° 31814. *Ley que promueve el uso de la inteligencia artificial ("IA"), en favor del desarrollo económico y social del país*. *Normas Legales del Peruano del 5-07-2023* págs 5-7, visto en <https://www.gob.pe/institucion/congreso-de-la-republica/normas-legales/4565760-31814>
- Comunicado de prensa de la FDA: *La FDA aprueba las primeras terapias genéticas para tratar a pacientes con anemia de células*

- falciformes. Publicado el 08 de diciembre del 2023. Visto el 10-5-2024 en <https://www.fda.gov/news-events/press-announcements/fda-approves-first-gene-therapies-treat-patients-sickle-cell-disease>
25. Doudna J. ¿Qué es CRISPR?. Una breve introducción a la edición del genoma CRISPR. <https://innovativegenomics.org/es/que-es-crispr/>
26. Henderson H, Ensayos clínicos CRISPR: una actualización en 2024. Publicado en Marzo 13, 2024, visto el 10-05-2024 en <https://innovativegenomics.org/es/noticias/ensayos-cl%C3%ADnicos-crispr-2024/>
27. Yang C, Inteligencia artificial explicable para modelos predictivos en el sector sanitario. *Revista de investigación en informática sanitaria* vol 6 pag 228-239, publicado el 11 de febrero de 2022 visto el 14-05-2024 en <https://link.springer.com/article/10.1007/s41666-022-00114-1>
28. Viveros Álvarez J. La inteligencia artificial y la responsabilidad internacional de los estados. <http://dx.doi.org/10.22201/ij.25940082e.2022.14.16894> <https://revistas.juridicas.unam.mx/index.php/derecho-informacion/issue/>

**CORRESPONDENCIA:**

Regina Rivera Delgado de Vela  
[rerivela@gmail.com](mailto:rerivela@gmail.com)

Regina Rivera Delgado de Vela

<https://orcid.org/0000-0002-2976-720>