

Consideraciones bioéticas en relación con el uso de la inteligencia artificial en mastología

Bioethical considerations in the use of artificial intelligence in mastology

Considerações bioéticas em relação ao uso da inteligência artificial na mastologia

Andrea Mariel Actis

Resumen

El screening mamográfico ha ayudado a identificar el cáncer de mama en sus estadios más tempranos, cuando los tratamientos son más efectivos. El empleo de la inteligencia artificial (IA) en el análisis de los mamogramas ha demostrado ser capaz de superar la habilidad del ojo humano para detectar lesiones en la mama sospechosas de cáncer. El objetivo del presente trabajo es realizar un aporte reflexivo sobre el avance de la tecnología digital y en particular de la IA en los screenings mamográficos, desde el punto de vista técnico y bioético. Se analizan ventajas y limitaciones de la IA, explicando cómo se produce el aprendizaje de los sistemas computacionales. Se propone un debate bioético sobre cuestiones tales como la privacidad, la credibilidad, la responsabilidad y la educación permanente. Se resalta la importancia de establecer canales de diálogo entre todas las partes involucradas en la incorporación de las nuevas tecnologías en medicina.

Palabras clave: Neoplasias de la mama
Screening mamográfico
Macrodatos
Bioética
Inteligencia artificial
Confidencialidad
Privacidad

Key words: Breast neoplasms
Mammographic screening
Big Data
Bioethics
Artificial intelligence
Confidentiality
Privacy

Bioquímica, Farmacéutica, Doctora de la Universidad de Buenos Aires, Diplomada en Bioética. Postgrado en Evaluación de Tecnologías Sanitarias. Postgrado en Ciberética.

Docente Autorizada de la UBA - JTP Dto. Humanidades Médicas. Facultad de Medicina. UBA

Correo electrónico: bioetica2.0@gmail.com

Dto. de Humanidades Médicas, Facultad de Medicina, Universidad de Buenos Aires

Recibido: 17/4/2021

Aprobado: 28/7/2021

Attribution-NonCommercial 4.0 International (CC BY-NC 4.0)

Introducción

Cada año cerca de medio millón de mujeres muere de cáncer de mama⁽¹⁻³⁾, además, solo en EE.UU. se registran unas 40 millones de mamografías anuales⁽⁴⁾. El *screening* mamográfico ha ayudado a identificar el cáncer de mama en sus estadios más tempranos, cuando los tratamientos son más efectivos⁽⁵⁾. El retraso en la detección lleva a su diagnóstico en estadios más tardíos con menor probabilidad de éxito, tratamientos más costosos y mayor mortalidad. A pesar de la existencia de programas de *screening* en todo el mundo, la interpretación de los estudios suele presentar controversias debido al alto porcentaje de falsos positivos y falsos negativos que se reportan posteriormente⁽⁶⁾. El empleo de la inteligencia artificial (IA) en el análisis de los mamogramas ha demostrado ser capaz de superar la habilidad del ojo humano para detectar lesiones en la mama sospechosas de cáncer^(3,7).

El objetivo del presente trabajo es realizar un aporte reflexivo sobre el avance de la tecnología digital y en particular de la IA en los *screening* mamográficos, desde el punto de vista técnico y bioético.

Nuevas tecnologías, nuevos conceptos

La irrupción del mundo digital ya se hizo notar. Su crecimiento es exponencial, a su vez, la pandemia del COVID-19 potenció su uso, casi como única forma permitida de contacto con el mundo externo. Esta situación puso en evidencia la falta de capacitación de muchos profesionales de la salud con las tecnologías digitales. También puso en evidencia la falta de conocimiento de muchos términos que, en una población más joven, los nativos digitales, son muy frecuentes. Sumado a esta situación, muchos términos se usan en inglés y se usan más sus acrónimos en inglés. Por este motivo, es necesario aquí dedicar unos párrafos para explicar y definir ciertos conceptos que van a atravesar este artículo y que empezarán a sonar en el ámbito cotidiano, cada vez con mayor frecuencia.

Inteligencia artificial (IA): es la habilidad de una computadora o un sistema computarizado de producir soluciones y comportamientos inteligentes, basado en el procesamiento de grandes cantidades de datos y mediante mecanismos de autoaprendizaje. En este contexto, inteligencia hace referencia a la habilidad de aprender, razonar, resolver nuevos problemas usando un lenguaje y una percepción característicos⁽⁸⁾. El Profesor John McCarthy, considerado el padre de la IA, la define como la ciencia y la ingeniería para la fabricación de máquinas inteligentes, especialmente programas informáticos inteligentes⁽⁹⁾. Por su parte, Gómez Guinovart la define como una subdisciplina de la informática que se ocupa de la comprensión de la inteligencia y del diseño de máquinas inteligentes, es decir, de máquinas

que presentan características asociadas con el entendimiento humano, como el raciocinio, la comprensión del lenguaje hablado y escrito, el aprendizaje o la toma de decisiones⁽¹⁰⁾.

Machine learning (ML): su traducción literal al español sería “aprendizaje de las máquinas”, es la forma en la que un sistema computacional aprende. A través de programas y algoritmos y en condiciones adecuadas, las computadoras pueden rápidamente procesar gran cantidad de información y dar una respuesta frente a un requerimiento específico⁽¹¹⁾. ML se constituye como el proceso a través del cual las computadoras son programadas para optimizar sus criterios de trabajo utilizando datos cargados como ejemplos o experiencias reales pasadas⁽¹²⁾. Conviene aquí hacer un paréntesis para explicar un concepto importante. Se asume a la máquina como la suma de hardware y software. Si bien es verdad que el aprendizaje se hace sobre un software, el ML y por ende la IA no evolucionaría si ciertos aspectos del hardware no hubieran evolucionado previamente para poder aumentar la capacidad y la velocidad, abriendo el camino de la ciencia de datos.

En el ML, los algoritmos tienen la capacidad de predecir nuevos casos en base a la experiencia aprendida a través de los datos que fueron usados para su entrenamiento y también pueden detectar patrones, que es uno de los aspectos más interesantes, ya que muchas veces estos patrones no son evidentes para el ser humano y solo aparecen luego de procesar una gran cantidad de información.

Dado que para algunos expertos el concepto de “aprendizaje de las máquinas” podría resultar confuso, actualmente se están empleando otros conceptos, tales como “aprendizaje automático” “aprendizaje estadístico automático” o “aprendizaje estadístico” al interpretar que se “entrena” a un sistema digital ofreciendo una cantidad elevada de datos para que procese y sea capaz de reconocer los patrones conocidos o pueda identificar nuevos patrones. Todos estos conceptos denotan un campo interdisciplinario de estudio científico de algoritmos de aprendizaje automático, que escritos en programas computacionales adecuados, les permiten eventualmente a los mismos programas la posibilidad de cambiar y adaptarse para mejorar su rendimiento frente a una tarea específica que ejecuta un sistema computacional completo. De tal manera que esta situación se observa como resultado del aprendizaje⁽¹³⁾.

Data: es la representación de la información que se procesa, por ejemplo: nombres, años, hechos, conceptos, etc. Se pueden almacenar en la memoria de una computadora o en la memoria de un servidor, esta última, comúnmente referida como “la nube”.

Big Data: hace referencia a un volumen muy grande de datos, imposible de manejar manualmente y por

ende, solo pueden ser procesados por IA. El manejo de Big Data incluye: gran volumen, alta velocidad, alta variedad, gran valor y alta validez.

Ciberespacio: es todo el espacio al que se accede a través de programas y aplicaciones mediante el uso de computadoras, *tablets*, *notebooks*, *netbooks*, *smartphones*, etcétera, sumado a todo aquello que se comparte a través de ellos. De manera tal que, mediante algoritmos, se pueden establecer perfiles psicológicos que con la ayuda del registro de gustos y costumbres, permiten luego segmentar el mercado para ofrecer nuevos productos en base a todos los datos que cada uno de nosotros fuimos entregando a través de dispositivos electrónicos. Lentamente se va construyendo y alimentando un gemelo digital para cada uno de nosotros y de los objetos que nos rodean⁽¹⁴⁾.

Algoritmo: es una serie ordenada de instrucciones, pasos o procesos que conducen a la solución de un determinado problema. En el lenguaje de las computadoras, los algoritmos son los que instruyen al sistema operativo en un lenguaje de programación determinado para que se llegue a la resolución de los problemas planteados⁽¹¹⁾.

Deep Learning (DL): su traducción literal al español sería “aprendizaje profundo”, es un tipo de algoritmo que se utiliza en ML y que utiliza el análisis en múltiples capas para obtener un resultado. DL es la forma de ML por excelencia para el análisis y reconocimiento de imágenes⁽¹⁵⁾. A nivel de hardware, los algoritmos de DL tuvieron un desarrollo acelerado, impulsado por la evolución de la Unidad de Procesamiento de Gráficos (GPU). La GPU se usa para visualizar gráficos en la computadora, pero también puede utilizarse para realizar cálculos en los algoritmos de DL. La GPU suele tener cientos o miles de unidades de procesamiento que realizan múltiples cálculos en forma simultánea, de tal manera que los algoritmos de DL pueden funcionar de diez a cien veces más rápido que los modelos previos.

Convolutional neural networks (CNN): las redes neurales convolucionales constituyen un tipo de DL basado en operaciones matemáticas llamadas convoluciones, cuya explicación excede los objetivos de este texto. Este es el tipo de DL más utilizado actualmente para el análisis de imágenes. Su funcionamiento está inspirado en el patrón de conectividad biológica de las redes neuronales de la corteza visual de los animales^(11,15).

Salud digital: según la *Food and Drug Administration* de Estados Unidos (FDA), la salud digital incluye categorías tales como las aplicaciones médicas en celulares, las TIC vinculadas a salud, aparatos que funcionan sin cables y la más reciente incorporación tan resistida antes de la pandemia, que es la telemedicina, entre otros ejemplos⁽¹⁶⁾.

El uso de la IA en los *screenings* mamográficos

El uso de ML en medicina está creciendo exponencialmente debido a su efectividad en la predicción y en la clasificación de imágenes. En el caso del análisis de *Big Data* en mamografías y tomosíntesis para el diagnóstico precoz de lesiones cancerosas de la mama, implicó un avance considerable en su utilización. Otro ámbito en el que el crecimiento fue igualmente significativo fue en el análisis de imágenes de fondo de ojo, donde permitió mejorar el diagnóstico precoz de la retinopatía diabética^(16,17).

Históricamente, el *Screening* Mamográfico de Suecia (*Swedish Two-County Trial*), fue el primer estudio en demostrar una reducción en la mortalidad por cáncer de mama debido al programa de *screening* mamográfico, informando una reducción del 30% de la mortalidad por cáncer de mama en mujeres entre 40 y 74 años⁽¹⁸⁾.

Cuando los radiólogos interpretan las imágenes mamográficas, usan su ojo entrenado para ubicar lesiones que pueden clasificarse en dos grandes grupos: las calcificaciones en *cluster* y los tejidos blandos. Las calcificaciones son pequeñas imágenes con un tamaño de 0,2 mm y de alto contraste. La forma de las calcificaciones y la distribución de los *clusters* son de gran importancia para definir el grado de malignidad de la lesión. Las lesiones de tejido blando son de variado tipo: masas de diferente forma y márgenes característicos, distorsiones en la arquitectura del tejido mamario y asimetrías respecto de la mama contralateral.

En la mayoría de estas lesiones otro factor importante es el grado de variación en el tiempo, de manera tal que la comparación entre estudios de un año a otro resulta útil para determinar por ejemplo, si un foco de calcificación es activo o no⁽¹⁹⁾.

La introducción de la CNN como herramienta del DL, usado como algoritmo principal del ML para alimentar la IA en medicina, potenció profundamente la interpretación de las imágenes tanto en mamografías convencionales como en imágenes de tomosíntesis. Muchas veces se cree que la IA es lo mismo que la CNN. Se debe entender que la CNN es una forma de encarar el DL y que el DL es uno de los algoritmos posibles para conseguir que un sistema computacional aprenda, en este caso, a distinguir diferentes tipos de lesiones para poder tomar la decisión de clasificar una imagen como sospechosa o no. Esto ayuda a optimizar los tiempos de los radiólogos, quienes ahora deberán revisar las imágenes sospechosas para decidir si la paciente debería repetir el estudio o iniciar acciones de tratamiento en estadio inicial para evitar el crecimiento de una masa tumoral⁽¹⁹⁾.

En un estudio independiente donde participaron seis radiólogos, la IA superó todos los pronósticos de cada uno de ellos con un margen de 11,5%, además detectó

más lesiones cancerosas y menos falsas alarmas⁽⁷⁾. Se espera que los sistemas computarizados para la detección del cáncer de mama en imágenes de screening, ya sea la mamografía digital o la tomosíntesis, provoquen un fuerte impacto en el futuro. Este pensamiento fue el mismo que flotaba en el ámbito radiológico hace 15 o 20 años cuando se empezaron a analizar las imágenes con la ayuda de programas que se basaban en el análisis cuantitativo de los píxeles de las imágenes. Sin embargo, la situación actual es bastante diferente, ya que la IA permite procesar una cantidad mucho mayor de imágenes, en un tiempo más corto y luego, al analizar dicha información con los algoritmos adecuados, es posible arribar a un diagnóstico con mayor efectividad que el personal de salud, reduciendo también los falsos positivos⁽¹⁹⁾.

En los *screenings* mamográficos se asume que hay un 10% de falsos negativos, es decir que se informan como negativos, pero luego la mujer desarrolla cáncer. También alrededor de 10% de mujeres son recitadas para un estudio adicional, de esas mujeres menos de 10% se diagnostican efectivamente como cáncer de mama. Estos estudios extras, que resultan ser un alto porcentaje de falsos positivos, conllevan daños evitables que incluyen desde la ansiedad de las pacientes, biopsias benignas e intervenciones o tratamientos innecesarios que generan gastos extras en los sistemas de salud y exposiciones a riesgos evitables⁽²⁰⁾.

Como contrapartida, una limitación anticipada de la IA es la posibilidad de que este tipo de tecnología no esté disponible en todos los hospitales de la mayoría de los países, así como también que existan programas o aplicaciones que permitan el análisis integrado global de los datos para poder tener estándares de interpretación homogéneos e internacionalmente válidos. Este objetivo, que actualmente parece inalcanzable, no debe perderse de vista, en función de su significancia para reducir inequidades. Otro gran desafío es encontrar los mejores algoritmos para un mejor ML. El diagnóstico por imágenes ha jugado un papel fundamental al liderar la introducción de la IA en la medicina. Millones de informes de estudios, billones de imágenes almacenadas en formato digital constituyeron la base necesaria para el avance del DL, a su vez, la disponibilidad de esta información fue fundamental para continuar con el entrenamiento de las aplicaciones^(21,22). También es importante que los médicos radiólogos comprendan que su fuente de trabajo no se verá en riesgo, ya que la toma de decisiones sigue pasando todavía por su experiencia.

Consideraciones bioéticas

El Grupo Europeo sobre Ética de las Ciencias y las Nuevas Tecnologías propone, en su declaración de 2018 sobre “Inteligencia Artificial, robótica y sistemas autónomos”, un conjunto de principios éticos funda-

mentales y prerequisites democráticos entre los que se destaca el respeto por la dignidad humana, entendiendo que la toma de decisiones hecha por algoritmos autónomos debe ser regulada por los Estados y deben existir límites para evitar que se le haga creer a una persona que está tratando con otra, en vez de con un algoritmo. En este sentido, el respeto por la autonomía debe estar garantizado y es indispensable que los profesionales de la salud informen a sus pacientes sobre los métodos mediante los cuales se arriba a un diagnóstico⁽²³⁾.

El debate bioético en el uso de la IA está vinculado a que la salud y los métodos de *screening*, que en este caso han contribuido a disminuir la mortalidad de una de las enfermedades más temidas en las mujeres, involucra a las personas. No se debe olvidar que la salud digital depende de datos humanos, algunos de los cuales se los considera datos sensibles. Por este motivo, la IA debe respetar las regulaciones de protección de datos de forma tal que no se recopilen ni se difundan datos sin el consentimiento de los pacientes.

Las cuestiones bioéticas en relación al uso de la IA en medicina que más preocupan a nivel mundial son: ¿cómo congeniar la medicina basada en la evidencia con los aportes de la IA en medicina? ¿cómo contribuir a la credibilidad y sustentabilidad de la IA en medicina? ¿cuáles serían las principales regulaciones que cada país debería discutir y poner a disposición de la población para garantizar el acceso equitativo a la salud de la población?^(23, 24).

Algunos expertos en IA proponen, de manera especulativa, que los sistemas basados en IA podrían reemplazar a los médicos en las tareas de interpretación de imágenes⁽²⁵⁾. Como en otras áreas de la sociedad, donde el avance de la IA ha sido importante, la opinión está dividida. Algunos tienden a pensar que el diagnóstico por imágenes se va a convertir en una especialidad próspera para ciertos profesionales⁽²⁶⁾. Otros piensan que, en lugar de reemplazar a los médicos, lo más probable es que éstos sumen los beneficios de las nuevas tecnologías, mejorando así la calidad y la eficiencia de su trabajo⁽²²⁾. Falta pensar de qué manera, porque va a ocurrir de todos modos, se modificará la práctica diaria del especialista en diagnóstico por imágenes, y cuáles serán sus perspectivas en el largo plazo. En esta línea de pensamiento, un tema de relevancia central en la bioética es el grado de responsabilidad de los profesionales en el caso de situaciones de mala praxis, donde no se puede responsabilizar a la IA por los daños provocados, dado que aún hoy las decisiones las toma el profesional de la salud. Sin embargo, si persiste la tendencia hacia una IA autónoma en el tamizaje del cáncer de mama, se deberán debatir en profundidad los aspectos bioéticos y legales en cuestión⁽²⁷⁾.

Por otro lado, cuando la tecnología permite recolectar, almacenar, analizar y guardar gran cantidad de

información médica, los desafíos bioéticos están vinculados con la privacidad y la confidencialidad de dichos datos. A esta recolección masiva de datos se agrega que si los datos masivos provienen de regiones con mejores condiciones y acceso a los sistemas de salud, entonces otras poblaciones de menores recursos quedarían fuera de estos registros, generando un sesgo importante que podría a su vez fomentar la discriminación entre grupos vulnerables y afectar también el acceso a los beneficios de la salud.

Como se mencionara, entre los muchos temas dentro del debate bioético el primer gran tema es la privacidad de los datos de pacientes, en la medida que una serie de datos sensibles comienzan a circular por los circuitos digitales, una mayor cantidad de datos estará disponible para su entrecruzamiento y obtención de vinculaciones. El punto central de la privacidad es el mecanismo de anonimización de los datos y el consentimiento informado que brindan los pacientes. También es importante garantizar la ciberseguridad de dichos datos y cómo evitar que queden expuestos luego de un ciberataque. Se asume que, hasta la fecha, varios ataques ya han puesto en peligro millones de datos de los servicios de salud, solicitando en algunos casos el pago en bitcoins para el reintegro de dicha información⁽²⁴⁾.

El segundo aspecto a tener en cuenta es garantizar la credibilidad en el empleo de la IA en medicina. En particular, es importante para el beneficio del uso de las nuevas tecnologías que la opinión pública tenga conformada una imagen positiva tanto en la salud pública como en la medicina digital, consideradas ambas en un amplio espectro. Para garantizar la credibilidad se deben incluir en su desarrollo, uso y protección la transparencia, la responsabilidad, la claridad respecto de quien controla los datos volcados al ciberespacio y los beneficios de su empleo.

El tercer aspecto es la responsabilidad, que atañe a los profesionales de la salud, a las instituciones que deciden incorporar IA en sus servicios y a los gobiernos, que en definitiva serán quienes deban regular y controlar su uso. Un tema importante para tener en cuenta es establecer mediante protocolos el grado de responsabilidad de los profesionales en el caso de situaciones de mala praxis, donde no se puede responsabilizar a la IA por los daños provocados, dado que aún hoy las decisiones las toma el profesional de la salud. Por este motivo, el diálogo entre estos tres actores: profesionales, instituciones y gobierno debe asegurar la protección de la autonomía de los pacientes y la salvaguarda de sus derechos⁽²⁸⁾.

Gran parte de todos estos aspectos se pueden mejorar si se trabaja desde la educación continua en términos de la ética y del diálogo reflexivo sobre los problemas mencionados. Un desafío para las sociedades científicas es la inclusión del diálogo bioético y la ge-

neración de consensos o guías para orientar el correcto desempeño en situaciones a futuro.

También urge establecer diálogos con los pacientes, sobre todo con aquellos que pueden estar expuestos a condiciones de mayor vulnerabilidad. Es importante en estos diálogos trabajar desde la sinceridad y el sentido común. Los avances tecnológicos, en particular la IA, debería empezar a pensarse como parte de nuestro proceso evolutivo como humanidad. En este sentido, la IA va invadiendo la vida cotidiana, los celulares cada vez incorporan más funciones inteligentes, como así también otros electrodomésticos, lo que se ha designado como “la internet de las cosas”. Es altamente recomendable establecer buenas prácticas de comunicación dentro de la relación médico-paciente para afrontar contingencias desde una relación de mutuo reconocimiento y respeto. Este diálogo será beneficioso para avanzar luego en el proceso de consentimiento informado, con una mejor predisposición de los pacientes a consentir las nuevas tecnologías⁽²⁹⁾.

Queda proponer a las universidades incorporar en sus planes de estudios la integración de la IA en la medicina o, al menos, advertir o preparar a los alumnos sobre un futuro no tan lejano donde la IA será parte de la relación médico-paciente. Se hace necesario repensar los curriculums de las escuelas y facultades de medicina para preparar correctamente a los futuros profesionales, como parte fundamental de la responsabilidad de las instituciones educativas.

Conclusiones

Es claro que más allá de las cuestiones técnicas y la evaluación clínica de cada caso en particular, existen cuestiones de orden legal y bioéticas que necesitan ser analizadas y clarificadas en congruencia con la responsabilidad profesional del equipo de salud. La comunidad médica debe estar preparada para los profundos cambios que vendrán de la mano de la IA. La responsabilidad profesional requiere también de la discusión de protocolos adecuados para el control de calidad de los algoritmos vinculados a la IA en el *screening* mamográfico, así como también la puesta en marcha de un programa adecuado de auditoría sobre la capacitación de los especialistas. Es importante remarcar la urgente necesidad de educar a los radiólogos y mastólogos en los alcances, limitaciones y nuevos horizontes de la IA en su especialidad⁽³⁰⁾.

En América Latina y en particular, en países tan cercanos en su idiosincrasia como Argentina y Uruguay, el nivel de adopción de las nuevas tecnologías de IA entre las instituciones de salud se encuentra en una incipiente etapa de descubrimiento, acompañado de cierta justificada desconfianza, más bien ligada a la falta de capacitación, y por supuesto con ciertos vacíos legales

que urgen su pronta definición por parte de los gobiernos. Es claro que la pandemia y los datos vinculados a la misma significaron por un lado un aluvión de datos muy fragmentados, pero al mismo tiempo ha acortado las brechas sociales en cuanto a la familiarización con términos y aspectos del ecosistema digital⁽³¹⁾.

También es importante tener en cuenta que en otras especialidades médicas la IA está siendo utilizada hace tiempo, como por ejemplo en el área hematológica y genética, así como también en neurocirugía, donde el empleo de robots está revolucionando la práctica de la medicina. Aprender de otras experiencias puede contribuir a una mejor aproximación a la IA.

Algunos autores prefieren hablar de inteligencia aumentada⁽³²⁾ dado que la actividad, el criterio y el ojo experto del radiólogo no se está poniendo en riesgo, sino que con el uso de la IA se potencia su inteligencia en la toma de decisiones que beneficiarían a las mujeres en disminuir aún más la mortalidad debida al cáncer de mama, debido a su detección eficaz cada vez en estadios más precoces.

Finalmente, los aspectos bioéticos tienen que ver más con los datos que con la tecnología en sí. Tal vez si entendemos que los datos son en el ciberespacio una representación de las personas en el mundo físico, entendamos que deben protegerse los datos así como protegemos a las personas.

Abstract

Mammographic screening has helped to identify breast cancer in its earliest stages, when treatment is most effective. The use of Artificial Intelligence in the analysis of mammograms has proved to be able to excel the human eye in detecting lesions in the breast that may be suspicious for cancer. The objective of this study is to make a reflective contribution on the advancement of digital technology and in particular, Artificial Intelligence in mammographic screening, from the technical and bioethical points of view. Advantages and limitations of Artificial Intelligence are analyzed explaining how machine learning occurs. A bioethical debate is proposed on issues such as privacy, credibility, accountability and continuous education. The importance of establishing channels of dialogue between all stakeholders in the incorporation of new technologies in medicine is highlighted.

Resumo

O rastreamento mamográfico ajuda a identificar o câncer de mama em seus estágios iniciais, quando os tratamentos são mais eficazes. O uso da Inteligência Artificial (AI) na análise de mamografias tem se mostrado capaz de superar a capacidade do olho humano em detectar lesões na mama suspeitas de câncer. O objetivo

deste trabalho é fazer uma contribuição reflexiva sobre o avanço da tecnologia digital e, em particular, a AI em mamografia, do ponto de vista técnico e bioético. As vantagens e limitações da AI são analisadas explicando como o aprendizado de sistemas computacionais é feito. Propõe-se um debate bioético sobre questões como privacidade, credibilidade, responsabilidade e educação ao longo da vida. Destaca-se a importância do estabelecimento de canais de diálogo entre todas as partes envolvidas na incorporação de novas tecnologias na medicina.

Bibliografía

1. **Bray F, Ferlay J, Soerjomataram I, Siegel R, Torre L, Jemal A.** Global cancer statistics 2018: GLOBOCAN estimates of incidence and mortality worldwide for 36 cancers in 185 countries. *CA Cancer J Clin* 2018; 68(6):394-424.
2. **Kyono T, Gilbert F, van der Schaar M.** Improving workflow efficiency for mammography using machine learning. *J Am Coll Radiol* 2020; 17(1 Pt A):56-63.
3. **Geras KJ, Mann RM, Moy L.** Artificial intelligence for mammography and digital breast tomosynthesis: current concepts and future perspectives. *Radiology* 2019; 293(2):246-59. doi: 10.1148/radiol.2019182627.
4. **Paci E, Broeders M, Hofvind S, Puliti D, Duffy S.** European breast cancer service screening outcomes: a first balance sheet of the benefits and harms. *Cancer Epidemiol Biomarkers Prev* 2014; 23(7):1159-63.
5. **Tabár L, Vitak B, Chen T, Yen A, Cohen A, Tot T, et al.** Swedish two-county trial: impact of mammographic screening on breast cancer mortality during 3 decades. *Radiology* 2011; 260(3):658-63.
6. **Lehman C, Arao R, Sprague B, Lee J, Buist D, Kerlikowske K, et al.** National performance benchmarks for modern screening digital mammography: update from the Breast Cancer Surveillance Consortium. *Radiology* 2017; 283(1):49-58. doi: 10.1148/radiol.2016161174.
7. **McKinney S, Sieniek M, Godbole V, Godwin J, Antropova N, Ashrafián H, et al.** International evaluation of an AI system for breast cancer screening. *Nature* 2020; 577(7788):89-94. doi: 10.1038/s41586-019-1799-6.
8. **Copeland B.** Artificial intelligence. En: *Encyclopedia Britannica*. London: Encyclopedia Britannica, 2021. Disponible en: www.britannica.com/technology/artificial-intelligence [Consulta: 4 marzo 2021].
9. **McCarthy J.** What is artificial intelligence? 2007. Disponible en: <http://jmc.stanford.edu/articles/whatisai/whatisai.pdf> [Consulta: 12 abril 2021].
10. **Guinovart X.** Fundamentos de Lingüística Computacional: bases teóricas, líneas de investigación y aplicaciones. *Bibliodoc: anuari de biblioteconomia, documentació i informació* 1998; 135-46. Disponible en: <http://www.raco.cat/index.php/Bibliodoc/article/view/56629/66051> [Consulta: 16 febrero 2021].
11. **Schmidhuber J.** Deep learning in neural networks: an overview. *Neural Netw* 2015; 61:85-117.
12. **Alpaydin E.** Introduction to machine learning. 3rd ed. The MIT Press, 2014.

13. **Uruguay. UdelaR. Facultad de Ingeniería.** Aprendizaje automático aplicado al análisis de textos. Disponible en: <https://www.fing.edu.uy/cpap/cursos/aprendizaje-automatizado-aplicado-al-analisis-de-textos> [Consulta: 4 marzo 2021].
14. **Datta S; MIT Auto-ID Labs; Massachusetts Institute of Technology.** Emergence of Digital Twins. 2016. Disponible en: <https://dspace.mit.edu/handle/1721.1/104429> [Consulta: 4 marzo 2021].
15. **Deng L, Yu D.** Deep learning: methods and applications. *Found Trends Signal Process* 2013; 7(3-4):197-387.
16. **Food and Drug Administration.** Digital health. Silver Spring, MD: FDA, 2021. Disponible en: <https://www.fda.gov/medical-devices/digital-health-center-excellence#mobileapp> [Consulta: 4 marzo 2021].
17. **Grzybowski A, Brona P, Lim G, Ruamviboonsuk P, Tan GSW, Abramoff M, et al.** Artificial intelligence for diabetic retinopathy screening: a review. *Eye (Lond)* 2020; 34:451-60.
18. **Tabár L, Fagerberg C, Gad A, Baldetorp L, Holmberg L, Grönroft O, et al.** Reduction in mortality from breast cancer after mass screening with mammography. Randomised trial from the Breast Cancer Screening Working Group of the Swedish National Board of Health and Welfare. *Lancet* 1985; 1(8433):829-32.
19. **Sechopoulos I, Teuwen J, Mann R.** Artificial intelligence for breast cancer detection in mammography and digital breast tomosynthesis: state of the art. *Semin Cancer Biol* 2021; 72:214-25. doi: 10.1016/j.semcancer.2020.06.002.
20. **Abbasi J.** Artificial intelligence improves breast cancer screening in study. *JAMA* 2020; 323(6):499. doi: 10.1001/jama.2020.0370.
21. **Mendelson E.** Artificial intelligence in breast imaging: potentials and limitations. *AJR Am J Roentgenol* 2019; 212(2):293-9.
22. **Thrall JH, Li X, Li Q, Cruz C, Do S, Dreyer K, et al.** Artificial intelligence and machine learning in radiology: opportunities, challenges, pitfalls, and criteria for success. *J American Coll Radiol* 2018; 15(3 Pt B):504-8. doi: 10.1016/j.jacr.2017.12.026.
23. **European Group on Ethics in Science and New Technologies.** Statement of artificial intelligence, robotics and “autonomous” systems. Brussels, 2018. doi: 10.2777/786515.
24. **Vayena E, Haeusermann T, Adjekum A, Blasimme A.** Digital health: meeting ethical and policy challenges. En: Stuckelberger C, Duggal P, eds. *Cyber Ethics 4.0: Serving Humanity with values*. Geneva: Stuckelberger-Duggal, 2018:229-58.
25. **Chartrand G, Cheng PM, Vorontsov E, Drozdal M, Turcotte S, Pal CJ, et al.** Deep learning: a primer for radiologists. *Radiographics* 2017; 37(7):2113-31. doi: 10.1148/rg.2017170077.
26. **Chockley K, Emanuel E.** The end of radiology? Three threats to the future practice of radiology. *J Am Coll Radiol* 2016; 13(12 Pt A):1415-20. doi: 10.1016/j.jacr.2016.07.010.
27. **Nabi J.** How bioethics can shape artificial intelligence and machine learning? *J Hastings Cent Rep* 2018; 48(5):10-13. doi: 10.1002/hast.895.
28. **Elenko E, Speier A, Zohar D.** A regulatory framework emerges for digital medicine. *Nat Biotechnol* 2015; 33(7):697-702.
29. **Rigby M.** Ethical dimensions of using artificial intelligence in health care. *AMA J Ethics* 2019; 21(2):E121-4. doi: 10.1001/amajethics.2019.121.
30. **Schaffter T, Buist D, Lee C, Nikulin Y, Ribli D, Guan Y, et al.** Evaluation of combined artificial intelligence and radiologist assessment to interpret screening mammograms. *JAMA Netw Open* 2020; 3(3):e200265. doi: 10.1001/jama-networkopen.2020.0265.
31. **Abdala MB, Lacroix Eussler S, Soubie S.** La política de la Inteligencia Artificial: sus usos en el sector público y sus implicancias regulatorias. (Documento de Trabajo N°185). Buenos Aires: CIPPEC, 2019. 25 p.
32. **Arieno A, Chan A, Destounis S.** A Review of the role of augmented intelligence in breast imaging: from automated breast density assessment to risk stratification. *AJR Am J Roentgenol* 2019; 212(2):259-70.