

LA INTELIGENCIA ARTIFICIAL EN MEDICINA

Santiago Barzallo Cueva* Patricio Barzallo Cabrera**

*Odontólogo. Centro de Especialidades NOUDENT. Cuenca-Ecuador

** Médico Pediatra. Hospital del Río. Clínica Santa Ana. Profesor Titular Pediatría. UDA

Correspondencia:

Nombre:

Santiago Patricio Barzallo Cueva

Correo electrónico:

santiagobarzallo@icloud.com

Dirección:

Av. Miguel Cordero y
Paucarbamba Edificio Work
Center Oficina. 301

Código postal: 010102

Teléfono:(593)72880543

Fecha de recepción:

20-09-2019

Fecha de aceptación:

23-10-2019

Fecha de publicación:

30-12-2019

Membrete bibliográfico:

Barzallo S. La inteligencia artificial
en medicina. Rev. Med Ateneo
2019; 21 (2): 81-94:

Artículo acceso abierto.

INTRODUCCIÓN.

Hasta hace muchos años se consideraba a la inteligencia artificial una tecnología lejana y misteriosa, pero que desde el año 1956 está presente en nuestro día a día y a toda hora. La inteligencia artificial ha jugado un rol importante en la medicina al aportar múltiples aplicaciones que ayudan al desarrollo de esta ciencia y a como facilitar el desempeño administrativo y laboral en este campo.

Al definir la inteligencia llamada también intelecto o entendimiento como la facultad de la mente que permite aprender, entender, razonar, tomar decisiones y formarse una idea determinada de la realidad, para decidir lo bueno de lo malo y de esta manera poder ver y predecir lo que las otras personas no logran hacerlo (1).

Al considerar al ser humano como una unidad conformada por estructuras físicas, mental y emocional por una parte, en las que la información y el aprendizaje son la función primordial; y, el espíritu y alma por otra, integradas a las anteriores, se manifiestan con atributos humanos superiores, la inteligencia, la trascendencia, la conciencia, el discernimiento, etc.; estas consideraciones deben marcar el límite entre la inteligencia artificial y el hacer del hombre.

Y apoyándonos en este concepto se han introducido algunas definiciones de la inteligencia artificial como tal, algunos creen que es la combinación de algoritmos planteados con el propósito de crear máquinas que presenten las mismas capacidades que el ser humano, es decir es una combinación de la ciencia del computador, fisiología y filosofía, tan general y amplio como eso, que reúne varios campos, todos los cuales tienen en común la creación de máquinas que pueden "pensar" (2).

Los pilares de la transformación digital son hasta la actualidad considerados como las grandes bases para el funcionamiento de nuestra vida futura en todos sus aspectos: internet, realidad aumentada y virtual, información artificial, blockchain, machine learning, robótica, soluciones cognitivas, analítica digital y Smart mobility.

La inteligencia artificial con sus métodos y procedimientos constituyen una solución tecnológica de alto nivel, que aplicada en la medicina y sus áreas aporta elementos que optimizan el hacer médico, recordando que el arte de la medicina se fundamenta en la interrelación médico-paciente.

En medicina apenas se ha utilizado la inteligencia artificial, en parte por razones culturales y filosóficas, por las que se asume que una computadora nunca será tan capaz como un médico humano; y por el rechazo de algunos médicos y odontólogos a sentirse cuestionados, supervisados o aconsejados por una máquina o por un ingeniero. Así, incluso en las ciencias biológicas y la medicina genómica se usan ya métodos computacionales avanzados; mientras que los clínicos tienen que lidiar con bases de datos cada vez más grandes y complejas recurriendo a métodos estadísticos tradicionales.

En Odontología la inteligencia artificial tiene también su campo de acción, no solamente con métodos de computación avanzada para el diagnóstico clínico de las diferentes patologías bucales, sino también en la aplicación de procedimientos terapéuticos para la salud bucal.

Al referirnos a la historia de la inteligencia artificial, los griegos, como Aristóteles (384-322 a. C.) y Ctesibio de Alejandría (250 a. C.) tuvieron las primeras ideas básicas, posteriormente podemos citar a Ramon Llull (1315), Alan Turing (1950) como pioneros en este campo y en 1956 se inventó el término inteligencia artificial. por John Mc Carthy, Marvin Minsky y Claude Shannon en la Conferencia de un Congreso en Dartmouth, (EEUU) (3).

En la década de 1960 a 1970 se entrenan computadoras para que imitaran el razonamiento humano básico y en el 2003 produjeron asistentes personales inteligentes, mucho tiempo antes que Siri (4) Alexa o Cortana fueran nombres comunes. En el año 2011 IBM desarrolló una supercomputadora con aplicaciones para juegos de Jeopardy llamada Watson, (5). En 2016 un programa informático ganó al triple campeón de Europa de Go (6). En 2018, se lanza el primer televisor con inteligencia artificial y en el 2019, Google presentó su Doodle en homenaje a Sebastián Bach en el que, añadiendo una simple melodía de dos compases la inteligencia artificial crea el resto.

Hoy en día se puede dialogar sin saberlo con un chatbot y no podemos percatarnos de haber hablado con un programa de inteligencia artificial, de modo tal que se cumple la prueba de Turing «Existirá inteligencia artificial cuando no seamos capaces de distinguir entre un ser humano y un programa de computadora en una conversación a ciegas».

Los expertos en ciencias de la computación Stuart Russell y Peter Norvig (7) diferencian varios tipos de inteligencia artificial:

Sistemas que piensan como humanos. - Estos sistemas tratan de emular el pensamiento humano; por ejemplo, las redes neuronales artificiales (8).

Sistemas que actúan como humanos. - Estos sistemas tratan de actuar como humanos; es decir, imitan el comportamiento humano; por ejemplo, la robótica (9).

Sistemas que piensan racionalmente. - Es decir, con lógica, tratan de imitar el pensamiento lógico racional del ser humano; por ejemplo, los sistemas expertos (10).

Sistemas que actúan racionalmente o idealmente. – Tratan de emular de forma racional el comportamiento humano; por ejemplo, los agentes inteligentes (11).

Al momento existen dos escuelas de pensamiento: a) la inteligencia artificial convencional conocida también como inteligencia artificial simbólico-deductiva. y b) la Inteligencia Computacional (12) también conocida como inteligencia artificial subsimbólica-inductiva.

La inteligencia artificial funciona combinando grandes cantidades de datos con procesamiento rápido e iterativo y algoritmos inteligentes, permitiendo al software aprender automáticamente de patrones o características en los datos, resultando ser un vasto campo de estudio que incluye muchas teorías, métodos y tecnologías. En resumen, el objetivo de la inteligencia artificial consiste en proveer software que pueda razonar lo que recibe y explicar lo que produce como resultado, proporcionando interacciones similares a las humanas con software y ofreciendo soporte a decisiones para tareas específicas, pero no es sustituto de los humanos – y no lo será en el futuro cercano.

“La humanidad se enfrenta a una nueva y formidable amenaza llamada inteligencia artificial” (Elon Musk). Por tanto, evaluar la inteligencia artificial es muy importante, así como conocer su parte buena y mala. Hasta el momento se han detectado algunos riesgos de la inteligencia artificial como las armas autónomas nucleares, manipular a la sociedad a través de las redes sociales, la invasión de la privacidad para oprimir socialmente, la divergencia entre nuestros objetivos y los de la máquina pueden terminar en un desastre y la discriminación de las máquinas que pueden recoger tu información, analizarla y rastrearla, pero también pueden utilizar esta información en tu contra.

Esta vertiginosa irrupción de la inteligencia artificial y de la robótica en nuestra sociedad ha llevado a los organismos internacionales a plantearse la necesidad de crear una normativa o ley de la robótica propuestas por el Parlamento Europeo para regular su uso y empleo; y, evitar de este modo, posibles problemas que puedan surgir en el futuro.

Hasta el momento no existen muchas ventajas que hagan pensar que la inteligencia artificial superará a la inteligencia natural del ser humano (13), nadie duda de que la tecnología seguirá su curso apoyada en la investigación y veremos con el tiempo a grandes empresas tecnológicas pelearse por adquirir y descubrir nuevos sistemas informáticos que ayuden al desarrollo de las ciencias. El mundo está literalmente invadido por cantidades inconcebibles de información que circula por la red y la capacidad de computación aumenta sin cesar.

¿Pero de verdad tenemos razones para temer que una máquina llegue algún día a pensar como nosotros? Y aunque haya voces como la del filósofo sueco de la Universidad de Oxford, Nick Bostrom, que anticipa que “existe un 90% de posibilidades de que entre 2075 y 2090 haya máquinas tan inteligentes como los humanos”, o la de Stephen Hawking, que aventura que las máquinas superarán completamente a los humanos en menos de 100 años, lo cierto es que lejos de convertirnos en obsoletos, la inteligencia artificial nos hará más eficientes y nos permitirá ejecutar acciones que nunca habiéramos podido realizar debido a su complejidad.

Dentro de las aplicaciones prácticas de la inteligencia artificial vemos que está presente en la detección facial de los móviles, en los asistentes virtuales de voz como Siri de Apple, Alexa de Amazon o Cortana de Microsoft y está integrada en nuestros dispositivos cotidianos a través de bots (abreviatura de robots) o aplicaciones para móvil, tales como un personal shopper en versión digital, concebida para ayudarnos con el aprendizaje de idiomas; diseñada para hacernos un poco más llevadera la ardua tarea de encontrar nuevo piso; o un asistente virtual de Facebook que emite diagnósticos médicos.

Como principales aplicaciones de la inteligencia artificial (14) están las de los juegos, las damas, el ajedrez, el go, aplicaciones en robótica, los robots mascotas, los robots de exploración y reconocimiento, los robots bípedos (Sofía), aplicaciones en vehículos inteligentes, el metro, coches autónomos, y conviviremos con chatbots interactivos que podrán sugerirnos productos, restaurantes, hoteles, servicios, espectáculos, según nuestro historial de búsquedas, finanzas, educación, comercial, climáticas, agrícolas, logística y transporte, el objetivo de todas ellas: hacer más fácil la vida de las personas.

APLICACIONES DE LA INTELIGENCIA ARTIFICIAL EN MEDICINA.

Si bien, el término Informática Médica (15) es objeto de debates, en su concepción, no pueden separarse ni la estructura de la información médica ni el conjunto de otras ciencias, métodos y técnicas que incluyen las ciencias de la computación, el análisis sistémico aplicado a la medicina y a la salud pública, la estadística, la lógica, la lingüística, la teoría de la toma de decisiones y la modelación. Es por eso que puede tratarse como una disciplina que trasciende fronteras, como un área de aplicaciones transdisciplinaria. Los avances experimentados en el campo de la informática médica (16) comprenden la investigación, la docencia, la atención primaria y secundaria; así como la gerencia de las instituciones de salud.

La interrelación entre inteligencia artificial y medicina asombra por la variedad de aplicaciones y el uso de "medios diagnósticos, técnicas de inteligencia artificial y variados tipos de aplicaciones educativas (multimedia e hipermedia) (17) y de gestión", a pesar de sus impresionantes éxitos, ofrecen sólo una pálida imagen de lo que puede representar el desarrollo de la inteligencia artificial con fines médicos.

La medicina digital con la ayuda de la inteligencia artificial y big data se presenta como una solución a los problemas asistenciales actuales, como la enseñanza médica. En este contexto nace Teckel Medical, una empresa dedicada al desarrollo de software médico basado en inteligencia artificial (18). Su aplicación Mediktor es el primer evaluador de síntomas avanzado del mundo, capaz de reconocer lenguaje natural para que el usuario exprese cómo se siente con sus palabras. Conduce un interrogatorio médico hasta concluir en un listado de posibles enfermedades asociadas a los síntomas referidos. La inteligencia artificial de Mediktor, junto con técnicas de gamificación, pueden utilizarse en el campo de la formación para dinamizar la enseñanza. Los formadores de la salud entienden que existe un momento de cambio, por lo que se empieza a enseñar medicina con una plataforma 2.0 en las facultades.

Desde hace 25 años venimos desarrollando Uvemaster (19) un sistema experto que integra la inteligencia artificial en el diagnóstico etiológico y tratamiento de las uveítis con el fin de incrementar el porcentaje de uveítis con diagnóstico específico, empleando para ello un método de "aproximación a medida" del caso particular que evita la realización de numerosas e innecesarias pruebas de laboratorio, así como la aplicación de tratamientos inadecuados y la consiguiente reducción de los costes del "work-up".

Los avances en el campo de la Radiología, la inteligencia artificial ciertamente ayudará a los radiólogos a "reducir el atraso" de los exámenes, el informar más rápido. En la práctica, se cree que el primer cambio será que los radiólogos de la actualidad, que utilizan principalmente una estación de trabajo con dos pantallas de computadora, una con la herramienta de imagen la otra con el sistema para emitir el informe y acceder a datos clínicos y radiológicos, comenzará a funcionar con tres pantallas, la tercera es una que incluye el análisis de inteligencia artificial y sus avances serán capaces de

realizar las tareas parcial o totalmente y teniendo la ventaja de tomar decisiones sin la intervención humana, reduciendo los costos y los errores humanos más comunes (20).

Estudios independientes afirman que entre el 50% y el 63% de las mujeres de EE. UU. que se realizan mamografías regulares durante 10 años recibirán al menos un "falso positivo" para cáncer. En dichos estudios, se estima que el software de reconocimiento de patrones visuales, es entre un 5% y un 10% más preciso que el médico promedio. Y se espera que la brecha de precisión entre el ojo humano y el digital se amplíe aún más en poco tiempo.

A medida que las máquinas se vuelven más poderosas y los enfoques de aprendizaje profundo ganan fuerza, continuarán avanzando campos diagnósticos como la radiología (CT, MRI y mamografía), la patología (diagnósticos microscópicos y citológicos), la dermatología (identificación de erupciones y evaluación de lesiones pigmentadas para el potencial melanoma) y la oftalmología (examen de los vasos retinianos para predecir el riesgo de retinopatía diabética y enfermedad cardiovascular).

Los Sistemas Expertos (SE) constituyen hoy en día una de las áreas de aplicación dentro de la medicina con mayor éxito. Los SE permiten almacenar y utilizar el conocimiento de uno o varios expertos humanos en un dominio de aplicación concreto. Su uso incrementa la productividad, mejora la eficiencia en la toma de decisiones o simplemente permite resolver problemas cuando los expertos no están presentes (21). Un sistema experto se refiere a un software capaz de imitar el comportamiento de uno o más expertos humanos en solución de problemas específicos; éste tiene la característica de almacenar el conocimiento de varios expertos y ofrecer solución, mediante robustos algoritmos y lógica (22).

Una de las principales características de un sistema experto es la capacidad de ganar experiencia; es decir, de aprender en cada una de sus tareas anteriores, recaudando información importante que permitirá que las futuras búsquedas o diagnósticos sean más certeros y rápidos (23).

Un considerable aumento en los casos de cáncer a nivel mundial así como de enfermedades autoinmunes colocan ante nosotros un gran reto; cada día se genera una cantidad importante de información la cual es necesaria considerar y utilizar para poder encontrar respuesta a cada una de las patologías que se presentan (24).

En los últimos 20 años la Historia Clínica Electrónica (HCE) tiene un gran potencial en la mejoría de la atención de salud, ya que permite tener a disposición del médico, en cualquier momento, los múltiples datos simples o complejos de cada paciente.

"Integrar con seguridad dichas tecnologías en la práctica también tomará tiempo. Los ensayos clínicos deben demostrar que el uso de la inteligencia artificial para asistir con el tamizaje (screening) o el triaje (triage) no lleva a sobrediagnósticos por la identificación de falsos positivos o a una atención médica retrasada o perdida por los falsos negativos. Son también necesarios los análisis de costo-beneficio y la demostración de generalización a diferentes poblaciones y servicios de salud" (25).

Muchas compañías están diseñando softwares de registros médicos electrónicos, Apple, por ejemplo, había lanzado una aplicación de salud para descargar su registro médico (26). Las regulaciones requeridas por la ley actual hacen que estos programas y aparatos requieran la aprobación en EE. UU. de la Food and Drug Administration (FDA) antes que se puedan ofrecer en el mercado.

Para realizar estudios observacionales con lo big data debemos reconocer y manejar tres limitaciones fundamentales, que se refieren a los confundidores residuales, los problemas del tiempo cero, y la multiplicidad. (27)

Los algoritmos diagnósticos por si solos no cuidan ni aconsejan a los pacientes en sus intrincados contextos personales, pero ahorrarían el tiempo de los clínicos, porque sintetizan datos complejos que, habitualmente, requerían consultas con diferentes grupos multidisciplinarios. Para navegar por tales incertidumbres, aun necesitamos un doctor que haya contemplado la mortalidad de una manera profunda” (28).

Según algunos autores como Hugo (29) el cerebro está constituido por neuronas que guardan y procesan una gran cantidad de información, por este motivo las redes neuronales artificiales buscan simular ese comportamiento del cerebro, permitiendo generar sistemas complejos creando una estructura donde se utilizan elementos simples, (30) y dos tipos de redes; la multicapa que es la más utilizada y también las redes neuronales convolucionales, las cuales son especializadas para el trabajo con imágenes (31).

La red neuronal multicapa o MPL (MultiLayer Perceptron) se basa en la unión de neuronas organizadas y distribuidas a lo largo de diferentes capas. (32) Este tipo de redes sirven para copiar el comportamiento de cualquier sistema usando entradas y salidas conocidas, de esta forma es capaz de clasificar elementos o imitar el funcionamiento de una estructura (33).

Uno de los campos en el que más se utiliza este tipo de redes es medicina, los autores Marcela Mejía y otros (34) han desarrollado una herramienta de apoyo diagnóstico para el examen de frotis de sangre periférica, en la cual con ayuda de una red neuronal buscan la clasificación de siete anormalidades en eritrocitos. La metodología consta de dos partes, un proceso de segmentación y uno de extracción; se usaron 23 imágenes, en las cuales fueron clasificados 265 eritrocitos de forma aislada por expertos. Los resultados obtenidos muestran que la media entre los porcentajes de acierto de la red es superior al 97% comparándolos con la clasificación realizada por el experto.

Las redes neuronales convolucionales (CNNs) se han usado últimamente en tareas de análisis de imágenes, sobretodo destacando su uso en los procedimientos de clasificación y reconocimiento (35) Este modelo de red se ha desarrollado inspirado en el sistema de aprendizaje biológico. Según W. Zhang, Qu, Ma, Guan, (36) extraer las características propias de un elemento que lo diferencian de otros es un proceso que realizan los seres humanos con la vista y que las CNNs tratan de emular. Para el trabajo con imágenes se utilizan este tipo de redes porque permiten el manejo de grandes estructuras de datos (37). Por otra parte J. Tan (38) presentan un algoritmo de segmentación de imágenes oculares en donde se buscan identificar los vasos vasculares, la fovea, el disco óptico y el fondo del ojo utilizando una red neuronal convolucional.

El sistema inmunológico de acuerdo con Schmidt (39) es el encargado de proteger a un organismo de elementos externos que puedan poner en riesgo la vida. El sistema tiene dos actividades básicas, el reconocimiento y eliminación de estos patógenos. De esta forma el sistema inmune artificial (AIS) trata de emular ese comportamiento para la solución de problemas utilizando el concepto de la producción de anticuerpos con base en información recopilada y guardada (40).

Entre los trabajos realizados se encuentra el de Magna (41) que busca utilizando un modelo del AIS encontrar asimetrías en mamografías para poder detectar cáncer de seno, para lo cual entrenan el modelo con una base de datos patrón.

Para el desarrollo del trabajo se usan alrededor de 200 muestras, las cuales se procesan y segmentan para extraer 24 características, con los patrones previamente entrenados se clasifican los resultados en clases predefinidas. Como resultado se obtiene un modelo con un acierto en la clasificación del 90% usando la base de datos de imágenes DDSM mini-MIAS, lo cual muestra mejores resultados en comparación con trabajos que usan los mismos datos como el propuesto en Magna (42) con 85% y en Casti (43) con 82%.

Otro caso de aplicación en el campo de la medicina es el presentado por los autores Gong y otros (44) en donde se establece el problema de la estandarización de las lecturas de imágenes de resonancia magnética. En este trabajo se presenta el desarrollo de un algoritmo basado en la técnica de selección clonar del sistema inmunológico artificial modificado para mejorar las imágenes.

La inteligencia artificial también tiene su rol en la Medicina Basada en la Evidencia (MBE) y la estandarización de las prácticas clínicas, como apoyo en las diferentes especialidades de la medicina (45).

El paradigma de la MBE ha favorecido la progresiva estandarización de las prácticas clínicas en las últimas décadas (46) Esta tendencia se ha reflejado en la adopción cada vez más extendida a nivel mundial de protocolos y guidelines (guías o pautas) por parte de las asociaciones científicas y las instituciones hospitalarias, hasta lograr su reconocimiento tanto en el marco de las regulaciones positivas en materia de responsabilidad médica, como también ante instancias judiciales (Di Landro, 2012) (46).

En los Estados Unidos, el Practice Guideline Movement se consagró antes que, en otros sistemas, tanto a nivel científico, como también político y jurídico (46). En ese contexto, los primeros sistemas de guidelines fueron desarrollados a principios de los años setenta del siglo pasado (46), y fueron impulsados sobre todo en los ochenta por parte de las asociaciones médico-profesionales y las empresas de seguros (46), con el objetivo de ofrecer «metaanálisis» (46); y protocolos de actuación idóneos para definir estándares clínicos válidos a nivel global. En efecto, dichas fuentes deberían indicar los estándares de diligencia objetivamente exigibles a los profesionales médico-sanitarios y, por ello, los parámetros de juicio idóneos para juzgar la conducta de los médicos que, infringiendo su «deber objetivo de cuidado», ocasionen —o no eviten— eventos adversos (46).

Sin embargo, ningún sistema de guidelines ha sido concebido como rigurosamente unitario o exhaustivo; ni siquiera en Estados Unidos se ha estimado como posible el otorgar a una única instancia el rol de arbitrar las buenas prácticas clínicas; (46). Este aspecto resulta muy relevante si se considera que, ante el problema de la excesiva judicialización de la medicina y el fenómeno de la «medicina defensiva», recientes reformas en materia de responsabilidad médica apuntan a la creación de bases de datos oficiales —reconocidas como tales por parte de las instituciones públicas— de dichas prácticas (46).

Tanto las guidelines como los outputs elaborados por modelos computacionales son resultados de inferencias basadas en relaciones inevitablemente probabilísticas o generalizaciones, emplean un lenguaje estandarizado y suponen una heterodeterminación del proceso decisional que, en principio, le correspondería al médico (46).

Entre los empleos más relevantes de automatización en el ámbito de la medicina, los sistemas de Deep learning (46) son los que más se acercan a las posibilidades de percepción del sistema nervioso humano (46) por lo que son utilizables en sectores como la oncología, la dermatología, la traumatología y la radiología.

Pero pueden darse aplicaciones también en los ámbitos de la experimentación clínica, así como en el terapéutico. Por ejemplo, según un estudio publicado por un equipo investigador de la Universidad de Stanford (46) el sistema «Decagon» sería capaz de prever los efectos adversos de las prescripciones simultáneas de fármacos (polypharmacy), y así ayudar a los médicos a encontrar combinaciones mejores y más seguras.

Supongamos entonces que un médico disponga del apoyo de un sistema computacional capaz de indicar el diagnóstico y tratamiento ante un caso clínico determinado. El modelo señala una posible solución, una indicación automatizada —pero probabilística, y basada de todos modos en datos limitados, aunque en hipótesis numerosísimos— al tratamiento del caso clínico. Ante esta situación, se plantean dos cuestiones (46):

a) ¿la disponibilidad de modelos capaces de proporcionarnos indicaciones terapéuticas de esta naturaleza nos autoriza a vislumbrar —o, incluso, desear— la futura sustitución del profesional? De esta manera, ¿quién sería el autor imputable de la indicación diagnóstica o la recomendación terapéutica? (46).

b) ¿qué sucede si el sistema comete un error, esto es, recomienda actuar de una forma que ex post se revela no adecuada? ¿Y cómo tendría que actuar el médico cuyo parecer se aleje mucho antes del diagnóstico recomendado por el sistema de inteligencia artificial? ¿Quién recomienda, quién decide y quién responde? (46).

En primer lugar, se arguye del tipo de aprendizaje que caracteriza a algunos sistemas de inteligencia artificial. Ya que la información que se les proporciona no puede ser 100 % fiable o neutral —pues tiene su origen en la obra de recolección, clasificación y categorización humana—, tampoco la actuación del modelo de learning machine podrá serlo del todo (46).

En segundo lugar, la interpretación y la comprensión de los criterios o parámetros en los que basan sus decisiones, los sistemas más avanzados de Deep learning resulta extremadamente compleja, también para quien elaboró el algoritmo original; nos referimos al problema de la interpretabilidad del modelo. Entonces, ¿cómo podría el facultativo entregarse a una decisión cuya ratio no es comparable ni verificable? (46).

Además, desde una óptica más bien ético-jurídica, la desaparición del profesional del ámbito decisional plantearía serios inconvenientes en términos de (re) configuración de la relación médico-paciente y, en particular, a efectos de establecer el acuerdo que concreta el consentimiento a la estrategia terapéutica; y de garantizar el ejercicio del —controvertido— derecho a recibir una explicación acerca del output (salida) del algoritmo (46).

Luego hay que considerar que existe un riesgo-seguridad: los sistemas son vulnerables y pueden ser manipulados a través de malware (mala mercancía). Y, finalmente, que algunas actividades propias de la medicina —por ejemplo, la revisión de rayos X— no se hacen sobre la base de razonamientos necesariamente lineales, sino también intuitivos, y sobre la base de inferencias que permiten establecer conexiones causales sobre la base de «hipótesis» y generalizaciones nuevas; en otras palabras, abducciones «extraordinarias» o «creativas» (Tuzet, 2006: 93, 124) (46).

Estas consideraciones nos llevan a concluir que los modelos actualmente disponibles pueden llevar a cabo tareas muy concretas, como alertar al médico de hacer ciertas acciones, comprobar el estado del paciente o incluso sugerir una solución diagnóstica o terapéutica, pero sin sustituir integralmente a la valoración y resolución del profesional (46).

Lo anterior es a propósito de los sistemas de machine learning, pero algo parecido se puede afirmar también sobre la robótica aplicada a la cirugía. En efecto, en la actualidad contamos con sistemas que ejecutan y corrigen la acción humana (L0 y L1); que ejecutan tareas bajo supervisión (L2), o que generan estrategias bajo supervisión humana (L3). Pero aún no se han alcanzado mayores niveles de autonomía o formas de actuación autónoma y sin supervisión humana (L4 o L5) (46) (47) (48).

Una rama muy cercana a la Medicina con la cual se comparte y se complementa su ciencia, es la Odontología y las aplicaciones de inteligencia artificial en esta carrera está lista para remodelar de manera maravillosa. La tecnología avanza y de pronto, el software de inteligencia artificial comenzará a ayudar a los dentistas a trabajar de forma más rápida, inteligente y precisa. Los dentistas que adoptan la tecnología darán pasos importantes para abordar los desafíos que enfrenta nuestra profesión.

Nosotros, como dentistas, consideramos rutinaria y relativamente simple: encontrar caries en las radiografías. De hecho, al hacerlo, estamos "procesando" conversaciones con el paciente, la historia del paciente, las imágenes radiográficas complejas y matizadas y nuestro examen intraoral directo. Aun así, se estima que nuestra tasa de diagnóstico erróneo de caries por rayos X puede ser del 20 % o más.

Para que las máquinas realicen tareas como leer radiografías, deben estar "entrenadas". Para que un sistema de inteligencia artificial tenga un beneficio práctico en el mundo real, todo esto debe suceder casi al mismo tiempo que un ser humano puede realizar la misma tarea. Si bien los sistemas de inteligencia artificial actuales son en gran parte unidimensionales en función de la tarea específica para la que están capacitados y programados por ejemplo leer radiografías y predecir la ubicación de las caries, a menudo son mucho más rápidos en esa tarea que los humanos.

Con la adopción continua de Tomografía Computarizada de Haz Cónico. (CBCT). Se trata de un tipo especial de rayos X que mediante una sola exploración produce imágenes en 3D de los dientes, los tejidos blandos, los huesos y los nervios. La interpretación de imágenes de haz cónico es otra área en la que la inteligencia artificial puede aumentar la productividad. En este punto, el análisis de los datos de haz cónico requiere un nivel específico de capacitación y experiencia. Este análisis puede llevar mucho tiempo, e involucra la selección de cientos de segmentos de imagen.

En el futuro, prevemos herramientas de análisis de aprendizaje profundo para imágenes, asistencia en el diagnóstico y planificación del tratamiento de la enfermedad periodontal al permitir la detección temprana de la pérdida ósea y los cambios en la densidad ósea. La detección de periimplantitis y la intervención temprana es un beneficio probable en la implantología. En Ortodoncia, los modelos predictivos más sofisticados para el movimiento dental probablemente mejorarán la planificación digital del tratamiento. La aplicación de análisis de imágenes de aprendizaje profundo al cáncer oral conducirá a una detección más temprana y diagnósticos más precisos con implicaciones para salvar vidas.

El análisis predictivo dentro de cualquier plataforma de gestión de datos también puede proporcionar perspectivas empresariales. Las mismas tendencias que informan la atención al paciente, como los diagnósticos, los planes de tratamiento y las preocupaciones relacionadas con la salud, pueden informar otras decisiones.

Además de darnos más tiempo para la interacción con el paciente, inteligencia artificial proporcionará más ancho de banda para la planificación, la administración del personal y la evaluación de nuevos equipos.

Por otra parte, la inteligencia artificial ha llegado a los instrumentos de higiene diaria, un cepillo dental. Un novedoso cepillo dotado con inteligencia artificial fue lanzado al mercado recientemente; se trata de ARA, que fue exhibido por Kolibree en la feria electrónica CES 2017 en Las Vegas. Este cepillo dental se conecta a una aplicación residente en el celular por medio de Bluetooth, de modo que en tiempo real sugiere cómo obtener un mejor cepillado y ajustar la rotación de las cerdas para eliminar el sarro de forma más eficiente.

ARA tiene incorporadas tecnologías de inteligencia artificial, cuyos algoritmos le permiten aprender los hábitos higiénicos del usuario con un sensor de movimiento, un magnetómetro y un acelerómetro que van creando y acumulando datos, el cepillo va aprendiendo a conocer la estructura de las piezas dentales, para luego ayudar en tiempo real a identificar qué parte de la boca del usuario está cepillando, sincronizando la duración y frecuencia de la sesión.

BIBLIOGRAFÍA

1. Gonzalo, Luis María (1987). Inteligencia humana e inteligencia artificial. Madrid: Palabra. ISBN 84-7118-490-7.
2. Bellman, Richard (1978). An introduction to artificial intelligence: can computers think? (en inglés). San Francisco: Boyd & Fraser Pub. Co. ISBN 978-0878350667.
3. «Andreas Kaplan; Michael Haenlein (2019) Siri, Siri in my Hand, who's the Fairest in the Land? On the Interpretations, Illustrations and Implications of Artificial Intelligence, Business Horizons, 62(1), 15-25». Archivado desde el original el 21 de noviembre de 2018. Consultado el 13 de noviembre de 2018.
4. Kaplan, Andreas; Haenlein, Michael (2018). Siri, Siri in my Hand, who's the Fairest in the Land? On the Interpretations, Illustrations and Implications of Artificial Intelligence (PDF) (en inglés) 62 (1). Archivado desde el original el 21 de noviembre de 2018. Consultado el 13 de noviembre de 2018.
5. «Watson y otros sistemas que mejoran nuestras vidas con inteligencia artificial». Pinggers. Archivado desde el original el 8 de marzo de 2011. Consultado el 21 de febrero de 2011.
6. Salas, Javier (28 de enero de 2016). «La inteligencia artificial conquista el último tablero de los humanos». El País.
7. Inteligencia artificial: un enfoque moderno. Russell y Norvig 2009
8. Mc Carthy, John (11 de noviembre de 2007). «What Is Artificial Intelligence» (en inglés). Sección «Basic Questions». Consultado el 27 de octubre de 2011.
9. Fundamentos lógicos de las redes neuronales artificiales. Rich y Knight 1991.
10. Fundamentos de inteligencia artificial. Winston 1992.
11. Artificial Intelligence: A New Syntesis. Nilsson 1998
12. Poole, David. «Computational Intelligence: A Logical Approach» (en inglés). Nueva York: Oxford University Press. p. 1. Consultado el 13 de junio de 2018.
13. Anokhin PK. Natural Intelligence versus Artificial Intelligence: The philosophical view. Cybernetics of living matter: nature, man, information. Moscow: MIR; 1987. p.127-42.
14. Anokhin PK. Natural Intelligence versus Artificial Intelligence: The philosophical view. Cybernetics of living matter: nature, man, information. Moscow: MIR; 1987. p.127-42.
15. García RF. La informática médica en Cuba. Disponible en: http://www.cpicmha.sld.cu/hab/vol6_2_00/hab070200.htm [Consultado: 17 de marzo de 2008].
16. González García N. El plan director de informática médica y su papel en el proceso de enseñanza - aprendizaje. Disponible en: <http://WWW.info200.islagrande.cu/esp/frame.html> [Consultado: 19 de marzo de 2008].
17. La investigación en informática médica en nuestros centros de educación médica superior. Disponible en: http://www.cecam.sld.cu/pages/rcim/revista_5/editorial_5.htm [Consultado: 15 de marzo de 2008].
18. Yua VL, Buchanan BG, Shortliffe EH et al. Evaluating the performance of a computer-based consultant. Comput Programs Biomed. 1979; 9: 95-102.
19. Gegundez-Fernandez JA, Fernandez-Vigo JI, Diaz-Valle D, et al. Uvemaster: a mobile app-based decision support system for the differential diagnosis of uveitis. Invest Ophthalmol Vis Sci. 2017;58:3931-3939.

20. Springer-Verlag. Huhns, M. 2012 M. P. Readings in Agents. Readings in Agents. Chapter 1, 1-24.
21. Nwana, H.S. 2009 Software Agents: An Overview. Intelligent Systems Research. AA&T, BT Laboratories, Ipswich, United Kingdom.
22. Parunak, H. Van Dyke, & Odell, James 1999 Engineering Artifacts for Multi-Agent Systems. ERIM CEC.
23. Julian, V., & Botti, V. 2000 Agentes Inteligentes: el siguiente paso en la Inteligencia Artificial. *Novática*, 145: 95-99.
24. Wooldridge, M., & Jennings, N. R. 1995 Intelligent agents: Theory and practice. *The Knowledge Engineering Review*, 10(2), 115-152.
25. Colera E. The fate of medicine in the time of AI. *Lancet* 2018;393:1789-91.
26. Richman B. Health regulation for the digital age - Correcting the mismatch. *New Engl J Med* 2018;379:1694-5. <http://doi.org/cw35>
27. Gill J, Prasad V. improving observational studies in the era of big data. *Lancet* 2018;392:716-7. <http://doi.org/cw37>
28. Darcy AM, Louie AK, Roberts LW. Machine learning and the profession of medicine. *JAMA* 2016;315:551-2. <http://doi.org/cw32>
29. Hugo, V. et al., 2009. Evaluation of multilayer perceptron and self-organizing map neural network topologies applied on microstructure segmentation from metallographic images. *NDT & E International*, 42, pp.644-651. [Links]
30. Mashaly, A.F. & Alazba, A.A., 2016. MLP and MLR models for instantaneous thermal efficiency prediction of solar still under hyper-arid environment. *Computers and Electronics in Agriculture*, 122, pp.146-155. [Links]
31. Arjmandzadeh, Z., Safi, M. & Nazemi, A., 2017. A new neural network model for solving random interval linear programming problems. *Neural Networks*, 89, pp.11-18. [Links]
32. Islam, S. et al., 2014. Solid waste bin detection and classification using Dynamic Time Warping and MLP classifier. *Waste Management*, 34, pp.281-290. [Links]
33. Hekayati, J. & Rahimpour, M.R., 2017. Estimation of the saturation pressure of pure ionic liquids using MLP artificial neural networks and the revised isofugacity criterion. *Journal of Molecular Liquids journal*, 230, pp.85-95. [Links]
34. Mejía, M. & Alzate, M., 2015. Clasificación automática de formas patológicas de eritrocitos humanos Automatic classification of pathological shapes in human erythrocytes. *Revista Ingeniería*, 21(1), pp.31-48. [Links]
35. Zhang, G. et al., 2017. SIFT Matching with CNN Evidences for Particular Object Retrieval. *Neurocomputing*, 0, pp.1-11. [Links]
36. Huang, C., Li, H. & Li, W., 2017. Store classification using Text-Exemplar-Similarity and Hypotheses- Weighted-CNN. *J. Vis. Commun. Image R. journal*, 44, pp.21-28. [Links]
37. Ferrari, A., Lombardi, S. & Signoroni, A., 2017. Bacterial colony counting with Convolutional Neural Networks in Digital Microbiology Imaging. *Pattern Recognition journal*, 61, pp.629-640. [Links]
38. Tan, J.H. et al., 2017. Segmentation of optic disc, fovea and retinal vasculature using a single convolutional neural network. *Journal of Computational Science*. [Links]

39. Schmidt, B. et al., 2017. Optimizing an artificial immune system algorithm in support of flow-Based internet traffic classification. *Applied Soft Computing j* , 54, pp.1-22. [Links]
40. Hatata, A.Y. & Sedhom, B.E., 2017. Proposed Sandia frequency shift for anti-islanding detection method based on artificial immune system. *Alexandria Engineering Journal*. [Links]
41. Magna, G. et al., 2016. Identification of mammography anomalies for breast cancer detection by an ensemble of classification models based on artificial immune system. *Knowledge-Based Systems*, 101, pp.60-70. [Links]
42. Magna, G. et al., 2015. Adaptive classification model based on artificial immune system for breast cancer detection. *Proceedings of the Eighteenth AISEM Annual Conference*. [Links]
43. Casti, P. et al., 2015. Analysis of structural similarity in mammograms for detection of bilateral asymmetry. *IEEE Trans. Med. Imaging*, 34(2), pp.662-671. [Links]
44. Gong, T. et al ., 2016. Magnetic resonance imaging-clonal selection algorithm : An intelligent adaptive enhancement of brain image with an improved immune algorithm. *Engineering Applications of Artificial Intelligence*, (October). [Links]
45. Rogers, W., Hutchison , K. (sin fecha). Evidence-based medicine in theory and practice: Epistemological and normative issues . En Schramme, T., Edwards, S (eds.); *Handbook of the Philosophy of Medicine*. (1-18). Dordrecht: Springer Recuperado de http://doi.org/10.1007/978-94-017-8706-2_40-1 [Links]
46. Perin, A.(2019). "Estandarización y automatización en medicina: El deber del cuidado del profesional entre la legítima confianza y la debida prudencia" *Revista Chilena de Derecho y Tecnología*. 8 (1), 3-28.
47. Perin, A.(2017). "La condotta lesiva colposa: Una prospettiva ricostruttiva". *Política Criminal*. 12 (23), 207-266. Recuperado de <http://doi.org/10.4067/S0718-33992017000100007>. [Links]
48. Amoroso, D., Tamburrini, G.(2019). "I sistemi robotici ad autonomia crescente tra etica e diritto: quale ruolo per il controllo umano?". *Rivista di Biodiritto*. (1), 33-51. Recuperado de <http://bit.ly/31KjzBC> [Links]

CONTRIBUCIÓN DE LOS AUTORES

Santiago Barzallo Cueva (SB). Patricio Barzallo Cabrera (PB): recolección de los datos, revisión bibliográfica y escritura del manuscrito. (PB) realizó el análisis crítico del manuscrito.

INFORMACIÓN DE LOS AUTORES

*Odontólogo. Centro de especialidades NOUDENT. Cuenca-Ecuador

** Médico Pediatra. Hospital del Río. Clínica Santa Ana. Profesor titular Padiatría UDA

FINANCIAMIENTO

La investigación fue financiada por los autores.

AGRADECIMIENTO:

Para Ing. Alexandra Martínez V. Mgs Inteligencia Artificial.

CONFLICTO DE INTERESES:

Los autores no reportan conflictos de intereses.

AUTORIZACIÓN PARA LA PUBLICACIÓN.

Los autores autorizan la publicación.