

Sistemas Inteligentes 2021-2022

IA Asistencial

(Salud)

Asensi Roch, Daniel;

De La Cruz García, Julia;

Dorado Bole, Ander;

Gómez Martínez, Antonio;

dar33@alu.ua.es

jdlc8@alu.ua.es

adb35@alu.ua.es

agm382@alu.ua.e

RESUMEN

Desde la creación de las primeras Inteligencias Artificiales siempre hemos buscado calcar los procesos cognitivos humanos en máquinas para acelerar nuestro trabajo y productividad, logrando esto campos como la medicina se interesaron por estas nuevas tecnologías, y aunque en un principio fueron fuertemente criticadas por pacientes y eminencias médicas poco a poco se fueron desarrollando aplicaciones que ayudarían en su día a día a los profesionales sanitarios, desde programas de simulación de proteínas, pasando por IA's capaces de detectar una enfermedad mediante un radiografía, hasta robots con la preparación suficiente para diagnosticar una enfermedad tan solo interrogando al paciente. Todo esto es lo que es capaz de hacer la Inteligencia Artificial, esta que podríamos perfectamente llevar en nuestro reloj o bolsillo, y una que más pronto que tarde conseguirá desarrollarse más aún, llegando a aplicaciones sorprendentes que salvarán muchas vidas y ayudarán al personal sanitario a mejorar la calidad de vida de muchas otras, todo esto y mucho más se llevará a cabo mediante la recolección de datos y el desarrollo de algoritmos que de los cuales dentro de poco dispondremos y podremos implementar a nuestras vidas.

PALABRAS CLAVE: medicina, Inteligencia Artificial, Salud, Desarrollo.

1. INTRODUCCIÓN

Lo primero que deberemos conocer para hablar de Inteligencia artificial es que a esta se le refiere como el conjunto de tecnologías que permiten simular mediante algoritmos la inteligencia humana, de esta manera la IA ha sido utilizado en diferentes campos de la salud, desde la síntesis de proteínas artificiales hasta la interpretación de datos clínicos para ofrecer diagnósticos.

Debido al creciente desarrollo de la inteligencia artificial en la visión por computador, en la automatización de tareas que requieren de intervención humana y el reconocimiento y procesamiento del lenguaje natural, los cuerpos médicos comenzaron a mostrar gran interés, mostrando grandes avances en el sector y mostrando programas para la digitalización de datos médicos, modelos computacionales y sistemas de IA para extraer datos de pacientes o enfermedades de manera rápida.

De esta manera a lo largo de este siglo y mostrando su gran apogeo durante estos años se han visto programas capaces de tomar los principios generales de un tratamiento contra una enfermedad aplicada en un paciente y derivarlos hacia otro para sanarlo , aprendiendo igual que lo haría un estudiante de primero de medicina.

Todo esto será lo que condicione su evolución histórica y social en el ámbito de la asistencia en la inteligencia artificial.

2. EVOLUCIÓN HISTÓRICA

La inteligencia artificial tal y como la conocemos tiene antecedentes en los años 40, En 1943 el neurobiólogo Warren McCulloch y el estadístico estadounidense Walter Pitts definieron que los eventos neuronales que se llevan a cabo en el cerebro humano pueden tratarse mediante la lógica proposicional, de esta manera no fue hasta 1956 que se llevaría a cabo la primera convención de Inteligencia Artificial donde se presentaron grandes avances en el estudio de la misma, en 1957 se presentaría “Perceptron” la primera inteligencia artificial capaz de reconocer patrones geométricos la que sería utilizada para el reconocimiento de voz y caracteres, además de la predicción meteorológica. Este reconocimiento de imágenes y patrones será el que despertará el interés de la comunidad médica para el futuro diagnóstico de enfermedades desde radiografías, fotos o incluso síntomas descritos por pacientes.

Antes de pasar a hablar de los casos inmediatos de uso, hablaremos de cómo la inteligencia artificial ha ayudado en el desarrollo de medicamentos mediante la Bioinformática, en este campo que comparte la medicina y la inteligencia artificial se lleva a cabo el estudio mediante simulaciones de los datos llamados Ómicos de como proteínas como la metaboloma, el genoma o el transcriptoma, pueden afectar y interactuar entre ellas para la sintetización de medicamentos que más tarde serán comercializados por entidades farmacéuticas.

En cuanto al uso de la inteligencia artificial en la práctica clínica fue el campo menos estudiado durante las posteriores décadas, ya que a causas prácticas los pacientes podrían sentir cierto rechazo ante que “una máquina” objetiva y sin cualificación dictamine el tratamiento que deberán seguir para sanar su enfermedad, pero esta premisa dejó de tener tanta notoriedad en los años de 2018 y 2019 donde comenzó el apogeo del análisis clínico mediante inteligencia artificial poniéndose en marcha

proyectos como “AI el primer médico androide”, este Androide mediante el aval de numerosos médicos y habiendo pasado todos los exámenes que debería pasar un médico humano para poder ejercer logró, mediante el uso de redes neuronales y machine learning, hacerse un hueco en el hospital de la ciudad china de Hefei, donde a día de hoy mediante su interfaz amigable, el reconocimiento del habla y su base de datos de diagnósticos de pacientes es capaz de interrogar a un enfermo y ofrecer un diagnóstico con posibles soluciones.

En el año 2020 se presentaron mediante el uso de la tecnología base de “Perceptron” IA’s capaces de realizar diagnósticos mediante el análisis de radiografías médicas, “La llegada de la IA aplicada a las imágenes médicas, como radiografías, TACs o scanners, viene de la mano de los algoritmos matemáticos y es el resultado de experiencias como los vehículos autónomos, esto comenzó a ser posible cuando se desarrollaron unas posibilidades de computación basadas en las consolas de videojuegos”, explica Manel Escobar, director clínico de diagnóstico por imagen del Hospital Universitari Vall d’Hebron. El mayor uso que se le dá a día de hoy a estos reconocimientos de patrones es durante las colonoscopias “En este campo, está orientada a detectar pólipos y cánceres precoces”, explica el doctor Ignasi Puigm, este gran avance ha permitido el diagnóstico de más del 15% de los 350000 casos detectados anualmente en España, salvando muchas vidas durante el transcurso. “Tengo la suerte de disponer de esta herramienta que tiene dos finalidades: ayudar a detectar pólipos , mediante la observación de su superficie, establecer de qué tipo es. ¿Cómo se ha desarrollado?, Entrenando con miles de vídeos y enseñando al software qué es y qué no es un pólipo. De esa forma se ha construido un patrón de reconocimiento” detalla Puig.

La inteligencia artificial ha evolucionado mucho y ha llegado para quedarse en nuestras vidas, está cada vez tendrá más reconocimiento y será capaz de ayudar a más personas.

3. APLICACIONES ACTUALES IA EN LA MEDICINA:

Las aplicaciones de la IA en la medicina actual son extremadamente diversas, es decir, pueden ir desde algo tan común como la Cardiología, Medicina Pulmonar o

Endocrinología hasta algo tan fascinante como la Neurología, tratando enfermedades como la epilepsia, entre otras muchas.

3.1. CARDIOLOGÍA:

3.1.1. Arritmias: La detección de las arritmias fue una de las primeras en ser mejorada por la inteligencia artificial. Se permitió su uso en 2014 mediante un monitor ECG¹ incorporado en un smartphone en el que se monitorizan y detectan las arritmias. Se estudiaron los resultados y se descubrió que no solo era más rápido, sino que también era más fiable para identificarlas. Esto no quedó aquí. Apple en su lanzamiento del Apple Watch series 4 en el 2018 obtuvo la aprobación de la FDA y lo implementó en este. Gracias a esto actualmente tenemos una fácil adquisición de un ECG y para la detección de arritmias en un ámbito casual. Claro que esto no puede ser tomado como una medida profesional ya que pueden llegar a haber falsos positivos por un millón de razones diferentes. Incluso Apple advierte de que no debe de ser usado para fines médicos.

3.1.2. Riesgo cardiovascular: Aplicado al historial electrónico de numerosos pacientes, con la IA se consiguió predecir el riesgo de una enfermedad cardiovascular, como pueden ser el Síndrome Coronario Agudo² o parada cardiaca. A pesar de esto se ha demostrado que dependiendo de la muestra que se introduzca los resultados pueden variar

3.2. MEDICINA PULMONAR:

3.2.1. Se ha dicho que en este campo aún queda mucho, como en todos, pero en la medicina pulmonar se ve como un campo muy prometedor en la toma de decisiones respecto a resultados de informes pulmonares. Pero recibió críticas debido a su bajo porcentaje de acierto comparado al del país en el que se probó.

3.3. ENDOCRINOLOGÍA:

3.3.1.Una continua monitorización de la glucosa permite a los pacientes con diabetes ver una lectura en tiempo real de la glucosa en sangre además de dar información de hacia dónde pueden variar estos niveles, tanto en dirección como a qué ritmo. En 2018 IBM desarrolló una IA llamada “Watson” la cual medía el azúcar en sangre para prevenir que sus clientes tuvieran episodios de hipoglucemia, esto estaba basado en una medida constante.

3.4. NEFROLOGÍA:

3.4.1.Uno de los ejemplos en los que se ha demostrado su gran utilidad es en la predicción de la disminución de la tasa de filtración glomerular³ en pacientes con la enfermedad Renal Poliquística⁴. No obstante, puede llegar a ser limitado por el tamaño de la muestra que es necesaria para su diagnóstico.

3.5. GASTROENTEROLOGÍA:

3.5.1.Gastroenterólogos han llegado a utilizar las redes neuronales convolucionales⁵ entre otros modelos de “deep learning” para así poder procesar imágenes de por ejemplo una endoscopia o un ultrasonido y poder detectar estructuras anormales que se encuentren en el intestino como pueden ser los pólipos del colon que no suelen ser peligrosos pero pueden convertirse en cancerígenos o serlo ya desde un principio. Las redes neuronales también han sido utilizadas para diagnosticar enfermedades como la enfermedad por reflujo gastroesofágico⁶ o también la gastritis atrófica⁷. Se ha llegado a predecir mediante la AI sangrado gastrointestinal, cáncer de esófago e incluso metástasis en el colon entre otras muchas.

3.6. NEUROLOGÍA:

3.6.1.Epilepsia: Los dispositivos inteligentes de detección de convulsiones son tecnologías prometedoras que tienen el potencial de mejorar el manejo de las convulsiones a través del monitoreo permanente de la persona que las sufre. *Empatica* recibió la aprobación de la FDA en 2018 para su dispositivo portátil *Embrace*, que asociado con sensores electrodérmicos pueden detectar ataques de epilepsia generalizada e informar mediante una aplicación móvil a familiares cercanos y médicos de confianza con información complementaria sobre la localización del paciente. Un informe centrado en la experiencia de un paciente reveló que, a diferencia de los dispositivos portátiles de monitorización cardíaca, los pacientes que padecían epilepsia no ponían problemas en utilizar de manera innovadora dispositivos de detección de convulsiones e incluso mostraron un gran interés en el uso de dispositivos portátiles para la detección de estos.

3.7. “WEARABLES”:

3.7.1. Actualmente como ya se ha podido ver en algunos casos han proporcionado un gran avance en la salud en el hogar, como puede ser la medición del pulso, ECGs o la medición del oxígeno en sangre. Un claro ejemplo de esto son los relojes inteligentes que ya se han visto anteriormente. A pesar de no ser un dispositivo que se pueda tomar como un diagnóstico válido, este puede llegar a ayudar al usuario a llevar una vida más saludable y puede detectar enfermedades del corazón como arritmias. Algunas de las aplicaciones que lleva este reloj inteligente son:

3.7.1.1. Medición del sueño: la cual te permite controlar los horarios de sueño y cómo de profundo ha sido este.

3.7.1.2. Medición de los pasos: puede calcular cuántos pasos has dado, la postura en la que andas, las calorías que puedes quemar en base a tu ritmo cardíaco, la distancia de tus pasos, asimetría de estos, escaleras subidas y muchas otras funciones.

3.7.1.3. Medición del ritmo cardíaco: Puede medir las pulsaciones por minuto, darte consejos para reducirlas en caso de que estén altas y

almacenar una gran cantidad de estos datos, dándote así la media de tus pulsaciones ese día.

3.7.1.4. Medición del oxígeno en sangre: recientemente se añadió esta función a los relojes inteligentes la cual te permite al igual que la medición del ritmo cardiaco, comprobarla y ver su media.

3.7.1.5. Control del ciclo: Te permite llevar un registro de la menstruación, anotar síntomas que esta te produzca e incluso puede ayudarte a predecir el inicio del próximo periodo o de los días fértiles.

3.8. Referencias:

3.8.1. Monitor de electrocardiogramas.

3.8.2. Reducción del flujo de sangre al corazón o incluso su repentina parada.

3.8.3. volumen de fluido filtrado por los capilares glomerulares renales por minuto

3.8.4. trastorno en el que se desarrollan quistes en los riñones, haciendo que estos puedan llegar a fallar

3.8.5. tipos de redes neuronales artificiales en las que las neuronas provienen de campos receptivos

3.8.6. ERGE: provoca que todos los contenidos estomacales vuelvan al esófago

3.8.7. Enfermedad que afecta a las células parietales

4. EJEMPLO PRÁCTICO

En este apartado vamos a profundizar en un ejemplo concreto de aplicación de un algoritmo inteligente en la medicina actual, en concreto, el algoritmo LYNA (Lymph Node Assistant). Desarrollado por investigadores de Google AI Healthcare este algoritmo analiza muestras de tejido teñidas para identificar tumores de cáncer de mama metastásico en biopsias de ganglios linfáticos. La identificación de células tumorales en los ganglios linfáticos puede ser laboriosa y propensa a errores, especialmente para pequeños focos tumorales. Esta no es la primera vez que la IA se enfoca en la rama de la histología, pero sí que es el primer algoritmo capaz de identificar regiones sospechosas indistinguibles para el ojo humano en muestras de tejidos.

En la fase final del desarrollo la eficacia de LYNA se probó en dos conjuntos de datos, muestras de ganglios linfáticos sanos y muestras con células cancerígenas, se comprobó que es capaz de clasificar con una precisión del 99% una muestra como cancerígena o no cancerígena. Finalmente, se realizaron testeos del algoritmo en

hospitales donde los médicos lo utilizaban junto con su método de análisis habitual. La utilización de LYNA redujo a la mitad el tiempo de revisión de las muestras y redujo el número de falsos negativos.

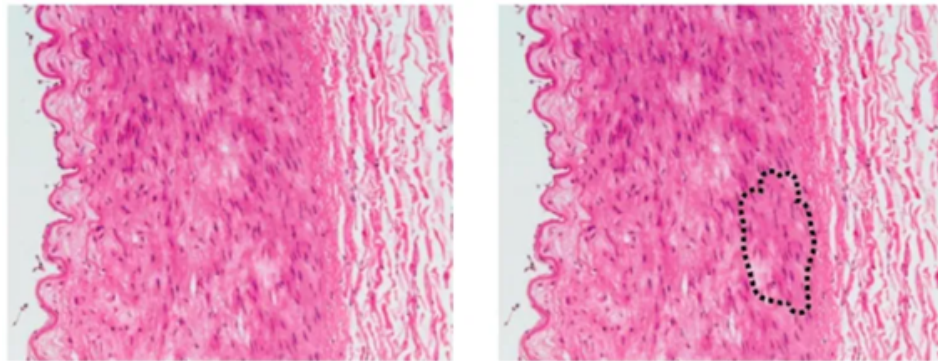


Imagen 1. Ejemplo muestras histológicas. El panel de la izquierda muestra la imagen introducida en un algoritmo. El panel de la derecha muestra una región de células potencialmente peligrosas, identificadas por un algoritmo, que un médico debería observar más de cerca.

Recientemente, otros algoritmos basados en imágenes mostraron una capacidad similar para aumentar la precisión del médico. A corto plazo, los médicos pueden utilizar estos algoritmos para ayudar a verificar sus diagnósticos e interpretar los datos del paciente más rápidamente sin sacrificar la precisión. Sin embargo, a largo plazo, los algoritmos podrían funcionar de forma independiente en la clínica, lo que permitiría a los médicos centrarse en casos que las computadoras no pueden resolver. LYNA sirve como ejemplo principal de algoritmos que complementan las clasificaciones de los médicos de muestras sanas y enfermas al mostrarles a los médicos las características destacadas de las imágenes que deben estudiarse más de cerca.

A continuación, desarrollaremos una prueba realizada sobre el algoritmo LYNA. Partiendo de una muestra formada por:

Muestra	Propósito	N.º Muestras	N.º Pacientes
Camelyon16	Desarrollo del Algoritmo	270 (160 normal, 110 tumores)	270
Camelyon16	Evaluación	129 (80 normal, 49 tumores)	129

DataSet2 (“DS2”)	Evaluación adicional	108 (52 normal, 54 tumor)	20
-------------------------	----------------------	---------------------------	----

Tabla 1. Características de los conjuntos de datos utilizados en este estudio.

El análisis de las imágenes para el entrenamiento del algoritmo (Deep Learning) se divide en dos etapas: desarrollo del algoritmo y aplicación del algoritmo (Tabla 1). Para desarrollar el algoritmo, muestreamos aleatoriamente una imagen cuadrada de 128 píxeles. Este tamaño de imagen se seleccionó para abarcar varias células.

El algoritmo es capaz de identificar las imágenes mediante una serie de operaciones matemáticas organizadas en una jerarquía de capas. Las capas anteriores tienden a producir características de imagen de bajo nivel (como bordes), y las capas posteriores utilizan características de nivel para construir características más abstractas (como formas).

Mientras que las operaciones y su orden están predeterminados por la arquitectura, los parámetros de las operaciones son automáticamente aprendidos este proceso es llamado *training* en el mundo de la IA. Las predicciones correctas se denominan etiquetas, que son determinadas y anotadas por patólogos al delinear tumores a nivel de píxel. Específicamente, para cada diapositiva en el conjunto de datos de Camelyon16, los tumores (si los hay) se describen a nivel de píxel. Al extraer secciones de imagen, también extraemos la etiqueta correspondiente de la sección de tejido (benigno: 0 o tumor: 1) y entrenamos al algoritmo ajustando repetidamente los pesos del algoritmo para reducir la error en las secciones de imagen que ve el algoritmo.

Mejoramos la eficacia del algoritmo LYNA al aumentar la proporción de muestras normales a tumorales para reducir los falsos positivos. Mejoramos aún más la eficiencia computacional del proceso de entrenamiento, que mejoró la diversidad de tejidos "vistos" por el algoritmo durante su fase de formación

5. RETOS Y FUTURO

“La transformación digital desde la pandemia ha sido masiva. La telesalud ha pasado de ser una novedad a una necesidad. Habiendo dicho eso, necesitamos depender de las instituciones de salud para curarnos y necesitamos tecnología para mejorarlo”

dijo Mitali Dutta, directora de ciencia de datos y análisis predictivo en Philips Innovation Campus, en su sesión en The Rising 2021. Señaló un aumento en las enfermedades crónicas y los costos de la atención médica, una escasez de profesionales de la salud. La IA puede hacer que la atención médica sea más humana. A veces, la gente cree que la IA lo reemplaza todo. Creo que, de hecho, la IA permitirá que algunos de estos expertos clínicos encuentren más tiempo para dedicar a los pacientes.

5.1. Retos

Los cuatro desafíos que enfrenta la industria de la inteligencia artificial en el cuidado de la salud son:

- La enorme presión sobre los sistemas y equipos sanitarios
- Crecimiento exponencial de los datos sanitarios
- Producir conocimientos perfectos en el momento de la toma de decisiones.
- Inteligencia aumentada para los médicos
- Integración y desafíos legales

La interoperabilidad y la integración es uno de los factores clave que separa la investigación académica de las aplicaciones prácticas de la IA y eso es lo que todos los hospitales están mirando en este momento. Están creando departamentos para tratar con empresas de especialistas en inteligencia artificial.

La IA en el cuidado de la salud, el centro es paciente. Por lo tanto, también debemos tener cuidado con la transparencia al abordar algunas de estas soluciones de inteligencia artificial en los hospitales y cuánto los médicos pueden entender eso

5.2. FUTURO

5.2.1. ANÁLISIS INTEGRATIVO

Como Francis Collins visualizó en su visión sobre la iniciativa de medicina de precisión, la próxima generación de científicos “desarrollarán nuevos enfoques creativos para detectar, medir y analizar una amplia gama de información biomédica, incluyendo molecular, genómica, celular, clínica, parámetros de comportamiento, fisiológicos y ambientales ". Los datos de diferentes modalidades pueden describir un problema de salud desde diferentes aspectos, y mediante la extracción integradora de esos datos heterogéneos, se pueden obtener conocimientos completos sobre la salud.

Los últimos años han visto un aumento en la investigación y las iniciativas relacionadas con la IA en la salud, integrando diferentes aspectos de los datos clínicos, vinculando los bio repositorios con los datos clínicos y forjando conexiones entre la investigación y el desarrollo farmacéutico con los datos clínicos. Más importante aún, combinar conocimiento y datos es la clave para desarrollar algoritmos de IA exitosos para la salud. A diferencia de otros campos informáticos, como el análisis de la visión y el habla, donde se pueden obtener grandes conjuntos de datos, los datos de los pacientes suelen ser limitados y pueden variar ampliamente. Además, los problemas de salud del mundo real suelen ser complejos. Para ayudar a compensar este problema, es necesaria la experiencia de los médicos y biólogos para informar el proceso de aprendizaje del modelo, de modo que el modelo no se ajuste demasiado a los datos.

5.2.2 TRANSPARENCIA DEL MODELO

Las tecnologías de IA recientes, como los modelos de aprendizaje profundo, pueden lograr un buen rendimiento cuantitativo, pero se tratan en gran medida como cajas negras. Se han debatido muchos sobre si es necesaria la interpretación del modelo. El aumento de la transparencia obstaculiza la capacidad de las personas para detectar cuándo un modelo ha cometido un error considerable. Holm defendió los modelos de caja negra estableciendo la analogía con el proceso de toma de decisiones humano, donde las decisiones son en gran medida subjetivas ("resultados de su propio 'aprendizaje profundo'"). Sin embargo, este no es el caso de la salud, al menos en la etapa actual de la tecnología computacional para el análisis de la salud. Por ejemplo, se ha demostrado que los modelos de aprendizaje profundo solo pueden lograr un rendimiento similar al de la regresión logística en las tareas de readmisión hospitalaria utilizando HCE o reclamaciones. Incluso para el análisis de imágenes médicas donde los modelos de aprendizaje profundo han logrado un rendimiento de vanguardia, sigue siendo difícil justificar la capacidad de generalización del modelo. Es decir, si el modelo funciona bien en el conjunto de datos de imágenes médicas de un centro de radiología, no es fácil justificar que aún pueda funcionar bien para otro centro de radiología. Además, en la mayoría de los entornos de atención médica, los tomadores de decisiones finales seguirán siendo médicos humanos, y los algoritmos de inteligencia artificial solo

los están ayudando. Por lo tanto, es importante proporcionar fundamentos específicos para las propuestas de esos algoritmos de IA, para que el médico se sienta más cómodo.

5.2.3. SEGURIDAD DEL MODELO

De manera convencional, solemos hablar de la importancia de proteger la seguridad y privacidad de los datos de salud, especialmente los datos relacionados con pacientes individuales. Con un aumento en la cantidad de modelos de IA en salud, también debemos ser conscientes del riesgo potencial de seguridad de esos modelos. Un ejemplo es el ataque contradictorio, que se refiere al proceso de construcción de datos que pueden confundir los modelos de aprendizaje automático y dar como resultado decisiones subóptimas o incluso incorrectas.

5.2.4. APRENDIZAJE FEDERADO

Los datos de salud se distribuyen ampliamente en y entre las instituciones relacionadas con la salud, y cada institución puede estar asociada con un conjunto diferente de partes interesadas. En muchos casos, estos datos son confidenciales y no se pueden agregar. Desde una perspectiva de entrenamiento de modelos, es deseable tener más y diversos datos para informar el entrenamiento de modelos.

El aprendizaje federado puede ayudar con este desafío. Según Konecny , “El aprendizaje federado es un entorno de aprendizaje automático en el que el objetivo es entrenar un modelo centralizado de alta calidad utilizando datos de entrenamiento distribuidos entre un gran número de clientes”. El desarrollo de tecnologías de IA para la salud federada es importante y muy exigente.

Además de los datos clínicos, en la actualidad hay cada vez más datos generados por pacientes. Por ejemplo, estos datos se pueden generar continuamente desde dispositivos portátiles o teléfonos móviles. En este caso, los pacientes podrían mostrarse reacios a compartir sus datos en alguna nube pública para entrenar un modelo predictivo para su estado de salud futuro. Con el aprendizaje federado, el modelo se almacenará en la nube. Cada usuario puede descargar la versión actual del modelo y mejorarlo localmente con sus datos. Los cambios del modelo se resumirán como una actualización enfocada que se enviará de vuelta a la nube con comunicación encriptada.

5.2.5. SESCO DE DATOS

Todos los modelos de IA necesitan muestras de datos de entrenamiento. Por lo general, el tamaño de la muestra de capacitación obtenida de los pacientes no es lo suficientemente grande para capturar todas las variaciones entre los pacientes y las complejidades de sus problemas de salud. Con frecuencia, el modelo formado por pacientes de un hospital no se aplica a los pacientes de otro hospital. Por lo general, nos referimos a este desafío como el sesgo de los datos, y dicho sesgo de datos sigue siendo uno de los principales desafíos para la IA en la salud. Como señaló Khullar, este sesgo también puede empeorar las disparidades en la salud.

6. REFERENCIAS

- Konecny J, McMahan HB, Yu FX, Richtarik P, Suresh AT, Bacon D. Federated learning: Strategies for improving communication efficiency ArXiv preprint. arXiv(1610.05492); 2016: p.18
- Briganti, Giovanni & Le Moine, Oliver. (05 February 2020). Artificial Intelligence in Medicine: Today and Tomorrow. Recuperado de [\[https://www.frontiersin.org/articles/10.3389/fmed.2020.00027/full\]](https://www.frontiersin.org/articles/10.3389/fmed.2020.00027/full)]
- SHANTHI S. (2019). Challenges And Future Of AI In Healthcare Recuperado de [\[https://analyticsindiamag.com/challenges-and-future-of-ai-in-healthcare/\]](https://analyticsindiamag.com/challenges-and-future-of-ai-in-healthcare/)]
- Georg Thieme Verlag KG Stuttgart (2019). AI in Health: State of the Art, Challenges, and Future Directions. Recuperado de [\[https://www.thieme-connect.com/products/ejournals/html/10.1055/s-0039-1677908\]](https://www.thieme-connect.com/products/ejournals/html/10.1055/s-0039-1677908)
- Yun Liu, PhD; Timo Kohlberger, PhD; Mohammad Norouzi, PhD (2019). *Artificial Intelligence–Based Breast Cancer Nodal Metastasis Detection: Insights Into the Black Box for Pathologists*. Arch Pathol Lab Med (2019) 143 (7): 859–868.
- Blog de los Estudios de Ciencias de la Salud de la UOC, Ramon Gomis de Barabarà, ¿Están interesados los médicos en aplicar la inteligencia artificial? ¿Es útil? [\[https://cienciasdelasalud.blogs.uoc.edu/inteligencia-artificial-en-medicina/\]](https://cienciasdelasalud.blogs.uoc.edu/inteligencia-artificial-en-medicina/)
- Blog ThinkingBig, Marta Barba El primer médico androide se llama AI [\[https://blogthinkbig.com/medico-androide-inteligencia-artificial\]](https://blogthinkbig.com/medico-androide-inteligencia-artificial)
- Periódico digital de El País, Guillermo Arenas, Inteligencia artificial al servicio de la medicina: así ayuda a conseguir diagnósticos más certeros.