

IMPACTO DE LA INTELIGENCIA ARTIFICIAL EN EL PERFIL DEL ESPECIALISTA EN DIAGNÓSTICO POR IMÁGENES Y DESAFÍOS DE LAS ORGANIZACIONES PRIVADAS DE SALUD¹

Mariano Albertolli²
(malbertol21@ucema.edu.ar)

Fernando Troilo³
(ftroilo@ucema.edu.ar)

Fecha de Recepción: 14 de Marzo de 2022

Fecha de Aceptación: 26 de Abril de 2022

ARK/CAICYT: <http://id.caicyt.gov.ar/ark:/s25915266/amhf48n3g>

RESUMEN

El objetivo principal fue estudiar cómo la inteligencia artificial impacta en el perfil del especialista en diagnóstico por imágenes especialista en diagnóstico por imágenes, con el fin de atender los desafíos propios del sistema de salud privado en la República Argentina. Se profundizó en el significado de la inteligencia artificial y en cómo se aplican los distintos tipos de estas tecnologías en el sistema de salud, procurando entender algunas de las tecnologías disponibles. Se proveyó un resumen de la organización del sistema de salud argentino y del flujo de trabajo que manejan los Departamentos de Imágenes de las instituciones privadas de la Argentina. Se continuó con un trabajo de campo a fin de obtener información de primera mano, de los especialistas en diagnóstico por imágenes y de las principales compañías proveedoras de tecnología médica, sobre el nivel de uso de la

¹ Artículo aceptado para su publicación el día: 26 de Abril de 2022.

² Magister en Dirección de Empresas, MBA, UCEMA. Licenciado en Administración de Empresas, Universidad de Buenos Aires. Actualmente se desempeña como Service Sales Manager Cala South en GE Healthcare. Anteriormente fue Latin America Service Support Manager for Healthcare Information Solutions en Philips.

³ Doctor en Sociología, Pontificia Universidad Católica de Argentina. Magister en Dirección de Empresas, MBA, UCEMA. Especialista en Dirección Estratégica de Recursos Humanos, Universidad de Buenos Aires. Su Profesor, investigador, consultor, y asesor para personas y organizaciones en su desarrollo. Anteriormente ocupó posiciones gerenciales en empresas multinacionales, como Líder de soluciones de gestión del talento. Es autor del libro *Ser CEO, competencias para un desempeño efectivo*, Editorial Temas.

inteligencia artificial, los riesgos y las amenazas, así como sobre el potencial de estas tecnologías y el impacto que genera en el perfil del especialista en diagnóstico por imágenes.

Se logró identificar un conflicto entre las instituciones y los especialistas en diagnóstico por imágenes, que dificulta el avance hacia la medicina de precisión. Finalmente, se arribó a la conclusión de que, con la incorporación de la inteligencia artificial, el perfil del especialista en diagnóstico por imágenes aumenta su valor, con los desafíos que esta evolución conlleva.

Palabras clave: Inteligencia Artificial; Especialista en Diagnóstico por Imágenes; Medicina Privada; Telemedicina; PNL.

ABSTRACT

The main objective was to study how artificial intelligence impacts on the profile of the diagnostic imaging specialist in order to meet the challenges of the private health system in the Argentine Republic. Based on this purpose, the meaning of artificial intelligence and how the different types of these technologies are applied in the health system were explored, trying to understand which technologies are available. A summary was provided about the organization of the Argentine health system, and also about the workflow within the imaging department of private institutions in Argentina. On order to obtain first-hand information we proceed with field work surveying diagnostic imaging specialists and main medical technology providers. This field work focusses on the level of use of artificial intelligence, risks and threats, as well as their potential and the impact it generates on the diagnostic imaging specialist profile. It was possible to identify a conflict between the institutions and diagnostic imaging specialist, which makes it difficult to move towards precision medicine. Finally, it concludes that with the incorporation of artificial intelligence, the profile of the diagnostic imaging specialist increases its value, presenting the challenges that this evolution entails.

Keywords: Artificial Intelligence; Diagnostic Imaging Specialist; Private Medicine; Telemedicine; NLP.

RESUMO

O objetivo principal foi estudar como a inteligência artificial impacta o perfil do especialista em diagnóstico por imagem, a fim de enfrentar os desafios do sistema privado de saúde na República Argentina. Aprofundou-se o significado da inteligência artificial e como os diferentes tipos destas tecnologias são aplicados no sistema de saúde, procurando compreender algumas das tecnologias disponíveis. Foi fornecido um resumo da organização do sistema de saúde argentino e do fluxo de trabalho realizado pelos Departamentos de Imagem de instituições privadas na Argentina. Prosseguiu o trabalho de campo para obter informações em primeira mão dos especialistas em diagnóstico por imagem e das principais empresas fornecedoras de tecnologia médica sobre o nível de uso da inteligência artificial, os riscos e ameaças, bem como sobre o potencial dessas tecnologias e o impacto que gera no perfil do radiologista. Foi possível identificar um conflito entre as instituições e os especialistas em diagnóstico por imagem, o que dificulta o avanço da medicina de precisão. Por fim, concluiu-se que, com a incorporação da inteligência artificial, o perfil do especialista em diagnóstico por imagem aumenta seu valor, com os desafios que essa evolução acarreta.

Palavras-chave: Inteligência Artificial; Especialista em Diagnóstico por Imagem; Medicina Privada; Telemedicina; PNL.

Clasificación JEL: O30, M12

1. INTRODUCCIÓN

Los principales desafíos del sistema de salud en los últimos años han sido el envejecimiento poblacional, el aumento de las enfermedades crónicas, la mejora en el acceso a la cobertura de salud y el incremento de la productividad del sistema de salud en su conjunto. En la República Argentina, las instituciones de la salud se encuentran frente al reto de cómo brindar un mayor acceso a la cobertura de salud y, a su vez, ante la necesidad de incrementar la productividad con el fin de mejorar los resultados operativos.

Focalizando en mejorar la productividad, las instituciones observan que la inteligencia artificial (IA) es una de las nuevas tecnologías que han irrumpido en las organizaciones, y se presenta como una posible solución para estos desafíos.

Una de las áreas más apropiadas para la introducción de la IA es el Departamento de Diagnóstico por Imágenes. Allí se identifican las oportunidades que potencian la productividad, lo que contribuye de manera positiva con los resultados.

Sobre la base de lo expuesto anteriormente, entender la nueva realidad resulta importante para la organización y las actividades de los colaboradores. Uno de ellos es el especialista en diagnóstico por imágenes, objeto de estudio.

El objetivo del presente estudio es explorar cómo la IA impacta en el perfil del especialista en diagnóstico por imágenes dentro de las instituciones privadas de salud de la República Argentina.

Para abordar dicho objetivo, en una primera etapa, se procura entender el significado del concepto de IA, y se identifican los diferentes tipos. En una segunda etapa, mediante la realización de encuestas, se analiza qué representa la IA para el objeto de estudio de este trabajo. Además, se procura detectar los riesgos y oportunidades para el sistema de salud, y cómo estas tecnologías atienden los desafíos del acceso a la cobertura médica, así como incrementar la productividad del sistema.

Finalmente, se analizan las soluciones vinculadas con la IA de los principales proveedores de la industria de la salud, para atender los desafíos del sistema de salud y entender cómo estas tecnologías impactan en el perfil del especialista en diagnóstico por imágenes.

2. DESARROLLO

Perfil del especialista en diagnóstico por imágenes

El 8 de noviembre de 1895, Wilhem C. Roentgen, como resultado de sus experimentos, realizó el descubrimiento de los rayos X, dando inicio a la observación del interior del cuerpo humano, lo que marca el comienzo de la radiología y la tecnología médica diagnóstica.

González y Pieri (2017) describen los cuatro momentos trascendentales de la radiología, que se pueden resumir en los siguientes descubrimientos tecnológicos: en 1917, el tubo de Coolidge; en 1950, surge el intensificador de imágenes; en 1972, se da origen a la tomografía computada; y durante 1980 y 1982, aparece la resonancia magnética nuclear. Estos avances tecnológicos forman la base de la radiología como se conoce hoy en día.

De acuerdo con la American Board of Radiology (2021), el especialista en diagnóstico por imágenes se define como “un especialista en diagnóstico por imágenes que utiliza metodologías de diagnóstico por imágenes para diagnosticar y tratar a los pacientes y brindar opciones terapéuticas” (párr. 1). El especialista en diagnóstico por imágenes utiliza distintos tipos de herramientas, como rayos X, ultrasonido, radiación electromagnética, para diagnosticar y tratar enfermedades.

De acuerdo con la Facultad de Medicina (2021), el perfil del especialista en diagnóstico por imágenes se encuentra comprendido dentro de la Licenciatura en Producción de Bioimágenes, cuya carrera de estudios tiene una duración de cinco años, y se otorga un título intermedio de Técnico Especialista en diagnóstico por imágenes Universitario al finalizar el tercer año.

Según Salmerón (2005), al realizar la captura de la imagen, se da comienzo a un proceso en el cual el especialista en diagnóstico por imágenes crea bloques de imágenes; y, sobre la base de su experiencia y conocimiento, se inicia el proceso de reconocimiento de la imagen para continuar con el proceso de información y síntesis. El reconocimiento de la anatomía normal, la anormal y las variantes es el inicio del proceso de diagnóstico. El nivel de expertise de un especialista en diagnóstico por imágenes se califica de acuerdo con la cantidad de imágenes analizadas. Salmerón (2005) expresa:

“La diferencia entre el experto y el novato es que este último no tiene habilidad para representar un problema en un banco mental de información y tiende más a analizar la periferia de las radiografías, lo que lo lleva a señalar hallazgos negativos o poco relevantes”. (Salmerón, 2005: 1)

Entonces, el especialista en diagnóstico por imágenes experto se caracteriza por reconocer patrones anormales y por ser flexible en el planteo de opciones diagnósticas. Se basa en sus experiencias pasadas (adquiridas como resultado de examinar muchos casos), la confirmación de los aciertos o fracasos de diagnóstico, y, por último, la continua actualización de sus conocimientos.

El producto final, donde el especialista en diagnóstico por imágenes vuelca toda su experiencia y profesionalismo, se traduce en el informe que comparte con el paciente y con los médicos solicitantes/referidos.

Pitman et al. (2018) propusieron un sistema en el que se tienen en cuenta las tareas imputables respecto al especialista en diagnóstico por imágenes. A continuación, se identifican algunas de las principales tareas y actividades del especialista en diagnóstico por imágenes:

- Interpretación y aclaración de las peticiones.
- Protocolización del estudio.
- Discusión del caso y dudas.
- Supervisión de la prueba.
- Atención del paciente durante el procedimiento.
- Supervisión del posproceso.
- Aclaración de dudas al paciente.
- Localización del estudio en sistemas RIS y PACS, confirmación de que está completo y descarga de este.
- Revisión del estudio completo.
- Aclaración de dudas que surjan a la hora de realizar el informe (estudio, consulta externa, doble opinión, etc.).
- Transcripción/dictado del informe.
- Cualquier contacto directo relacionado con el estudio.
- Firma del informe final.
- Envío del informe al médico que solicitó el estudio.

La evolución tecnológica desafía a los especialistas en diagnóstico por imágenes ante la necesidad de una capacitación continua para ampliar y fortalecer sus conocimientos; en especial, los conocimientos de biología molecular y de tecnología avanzada de la información. Este constante desarrollo ha dado como resultado la tendencia de los especialistas en diagnóstico por imágenes a la subespecialización en áreas como neuroimagen, radiología mamaria, pediátrica, de cabeza y de cuello, intervencionista, etc. Estos niveles de subespecialización han permitido un mayor nivel de integración con los médicos tratantes y con las demás actividades de atención médica.

Inteligencia artificial

Los expertos en ciencias de la computación Russell y Norvig (2004) diferencian cuatro sistemas de IA: aquellos que piensan como humanos, aquellos que actúan como humanos, aquellos que piensan racionalmente y, por último, aquellos que actúan racionalmente.

Si bien esta clasificación parece simple, no existe consenso alrededor de lo que constituye específicamente la inteligencia. Algunos expertos en IA han propuesto ciertos criterios para definir cuándo algo actúa inteligentemente, a saber: “lo que hace es apropiado para sus circunstancias y sus metas; es flexible al entorno cambiante y metas; aprende de su experiencia; y hace elecciones apropiadas dada su percepción y limitación computacional” (Cossy-Gantner et al., 2018: 1).

La Comisión Europea (CE) emitió un documento con el fin de describir de manera resumida el concepto de IA. La noción de IA, como su primer término lo indica, hace referencia al concepto de inteligencia. Los estudios más recientes consideran que la racionalidad es el principal concepto de IA, pero no el único. Basándose en este concepto de racionalidad, la Comisión Europea (2021) establece en una definición preliminar que la inteligencia artificial “se refiere a la habilidad de escoger el mejor curso de acción con el objetivo de alcanzar un resultado, en base a criterios optimizables y los recursos disponibles” (p. 1). A partir de allí, la CE (2021) propone una definición que procura abarcar los diferentes tipos de IA:

“Los sistemas de IA son sistemas de software (y posiblemente también hardware) diseñados por humanos que, dado un objetivo complejo, actúan en la dimensión física o digital percibiendo su entorno a través de la adquisición de datos, interpretando los datos estructurados o no estructurados recopilados, razonando sobre el conocimiento, o el procesamiento de la información, derivado de estos datos y decidir la mejor acción a tomar para lograr el objetivo dado. Los sistemas de IA pueden usar reglas simbólicas o aprender un modelo numérico, y también pueden adaptar su comportamiento analizando cómo el medio ambiente se ve afectado por sus acciones anteriores.

Como disciplina científica, la IA incluye varios enfoques y técnicas, como el aprendizaje automático (del cual el aprendizaje profundo y el aprendizaje reforzado son ejemplos específicos), el razonamiento automático (que incluye planificación, programación, representación y razonamiento del conocimiento,

búsqueda y optimización) y robótica (que incluye control, percepción, sensores y ejecución, así como la integración de todas las demás técnicas en sistemas ciberfísicos)”. (CE, 2016: 8).

Boucher (2020) enmarca la evolución de la IA en dos olas tecnológicas. La primera ola consolida la denominada “inteligencia artificial simbólica”. Esta categoría procura codificar las reglas que una máquina pueda ejecutar. Dichas reglas están basadas en el conocimiento y experiencia de expertos en el tema. La IA simbólica solo puede evolucionar a través de la intervención directa del ser humano.

La segunda ola, denominada “aprendizaje automático” (machine learning [ML]), es IA basada en datos. Se considera la evolución de la IA simbólica, ya que, a diferencia de esta última, en machine learning, la mejora se ejecuta a través del propio algoritmo de quien se entrena por sí mismo, basado en datos. Con estos algoritmos, se pueden identificar patrones, aprender de ellos y aplicar este conocimiento para realizar una declaración sobre la base de los datos proporcionados.

Choy et al. (2018) consideran que el ML es un método de ciencia de datos que les proporciona a las computadoras la capacidad de aprender sin necesidad de programación de reglas explícitas, como en el caso de la IA simbólica. Este método permite la creación de algoritmos que aprenden por sí solos y permiten realizar predicciones. El aprendizaje automático es poderoso por su robustez, cuando se lo compara con la IA simbólica. Esta última puede fallar al ser expuesta al mundo real, debido a la complejidad que conlleva capturar la realidad en un algoritmo de reglas estructuradas y definidas por el programador. El aprendizaje automático es flexible, dado que el sistema utiliza aproximación estadística, basada en un conjunto de entrenamientos para responder a la realidad. Adicionalmente, esta herramienta es genérica, es decir, se puede aplicar tanto para coches autónomos como para la interpretación de imágenes médicas, lo que permite una expansión a diferentes campos, como la medicina.

Tanto Boucher (2020) como Choy et al. (2018) identifican diferentes tipos de IA, de los cuales se listan algunos de los más significativos:

- Volumen de datos (big data).
- Minería de datos (data mining).
- Redes neuronales artificiales (artificial neural networks).

- Aprendizaje profundo (deep learning).
- Procesamiento natural del lenguaje (natural language processing [PNL]).

Boucher (2020) define big data como el conjunto de datos grandes y complejos que no pueden ser procesados de la misma manera que los conjuntos de datos pequeños. La CE (2016) lo define como una gran cantidad de distintos tipos de datos que pueden provenir de máquinas, sensores o personas. Complementa esta definición al describir los tipos de datos que pueden generarse, como imágenes por satélites, fotos, videos, señales de GPS, etc. Big data también puede incluir cualquier tipo de dato personal, por lo que recomienda la aplicación del principio de protección de datos desde el diseño.

Esta norma pretende que las empresas y analistas que trabajan con big data procuren utilizar buenas prácticas de anonimización, seudonimización, o el cifrado y protocolos de comunicación anónimas.

Tanto la CE (2021) como Boucher (2020) concuerdan en que una de las principales ventajas de esta tecnología es la posibilidad de reflejar patrones entre distintas fuentes y conjuntos de datos (sets), que permiten extraer información útil y, en última instancia, un incremento de la productividad, una mejora en los servicios y en las actividades de la economía. Adicionalmente, concuerdan en que la principal problemática es la protección de datos personales.

Un punto clave de esta tecnología hace referencia a los big data analytics. Como mencionan Cirillo y Valencia (2019), el análisis de un gran volumen de datos requiere ciertas actividades, como la estructuración de datos, la gestión de estos para que la información sea consistente, y, por último, el análisis y la interpretación.

Esta IA tiene múltiples aplicaciones, algunas de ellas en el ámbito de marketing personalizado, descubrimiento de tendencias de consumo de clientes, proyecciones de inventario, control/monitoreo de enfermedades en el sistema de salud nacional, etc.

Estas operaciones requieren la aplicación de múltiples algoritmos, los cuales permiten combinar el big data con los diferentes tipos de IA, que se revisan a continuación.

Boucher (2020) define la minería de datos como “un campo de la computación centrado en la identificación automatizada de patrones y anomalías en conjuntos de datos” (Boucher, 2020: 8).

Complementando la definición anterior, Schuh et al. (2019) enmarcan este tipo de IA como un subtipo de ML, como un proceso que busca generar conocimiento a partir de datos y que presenta sus hallazgos de manera integral a los usuarios.

Para enmarcar el concepto de ML, Raval (2012) plantea que la minería de datos es parte de un proceso de knowledge discovery (descubrimiento de conocimiento [DC]).

Este proceso contiene múltiples etapas:

- Consolidación de los datos provenientes de las múltiples fuentes de datos (sensores, personas, etc.) en un solo almacén de datos (datawarehouse).
- Procesamiento y transformación de los datos.
- Procesamiento de datos a través de algoritmos de minería de datos, con el que se obtiene como resultado la identificación de patrones o anomalías.
- Los patrones o anomalías se interpretan para generar conocimiento e información útil.

Los resultados que se obtienen en la tercera etapa del proceso de DC a través de la aplicación de análisis de datos y estadística se pueden distinguir en “descriptivos, donde el conocimiento se muestra en forma de modelos que representan patrones y relaciones en datos, y predictivos, donde el conocimiento está representado como una predicción de futuras condiciones, tendencias y relaciones” (Schuh et al., 2019).

Se puede resumir, entonces, que la minería de datos forma parte de un proceso de descubrimiento de conocimiento, y que su objetivo es el procesamiento de datos para identificar patrones o anomalías, con el fin de presentar los hallazgos para su posterior interpretación.

La aplicación de esta tecnología es muy variada. En la actualidad, se puede encontrar en múltiples áreas, como marketing, mercado de capitales, detección de fraude, etc.

Las redes neuronales artificiales (RNA) se inspiran en la arquitectura del cerebro humano y se basan en la operación biológica de las redes neuronales. Contienen una serie de ecuaciones que se utilizan para simular procesos biológicos, como el aprendizaje y la memoria. Las RNA se pueden analizar desde un punto de vista estadístico. Y pueden ser consideradas algoritmos estadísticos capaces de modelar complejas relaciones no lineales entre variables (Amit, 1989, como se citó en Morra et al., 2019).

Choy et al. (2018) complementan la definición anterior: las RNA se componen de “una capa de entrada de neuronas, una o más ‘capas ocultas’ y una capa de salida. Cada capa oculta está formada por un conjunto de neuronas, donde cada neurona está conectada a todas las neuronas de la capa anterior” (p. 1). Por lo tanto, cada conexión se cuantifica según la fuerza de sus conexiones. Para que la red produzca resultados válidos, es clave el correcto establecimiento de los valores del peso de estas fuerzas. En los últimos años, el área que mayor desarrollo ha presentado es el de la detección y clasificación correcta de los hallazgos en las imágenes. Por último, el aprendizaje que se realiza en las RNA puede ser supervisado, parcialmente supervisado o no supervisado.

Las RNA poseen múltiples atributos, algunos de los cuales son: aprendizaje adaptativo, autoorganización de datos vía clasificación y clustering, capacidad de pronosticar y tolerancia a fallos.

Esta tecnología tiene aplicaciones en todas las industrias. Estos son algunos ejemplos:

- Industria bancaria: detección de fraudes con tarjetas de crédito, evaluación crediticia.
- Defensa: reconocimiento facial, sonar, radar, supresión de sonido, etc.
- Medica: diseño de prótesis, optimización de procesos de trasplante, análisis de estudios relacionados con células cancerígenas, electrocardiogramas, etc.

En los últimos años, el uso de algoritmos de aprendizaje profundo (AP) se ha intensificado, hasta convertirse en una tendencia dentro de la IA. El aprendizaje profundo puede clasificarse como un nivel superior de las redes neuronales artificiales.

De acuerdo con Ravi et al. (2017), “a diferencia del uso más tradicional de RNA, el aprendizaje profundo explica el uso de muchas neuronas ocultas y capas, por lo general más de dos, como una ventaja arquitectónica combinado con nuevos paradigmas de entrenamiento” (Ravi et al, 2017: 4).

Ravi et al. (2017) describen seis tipos de arquitectura de AP. En este estudio, solo se enuncian deep neural network, deep autoencoder, deep belief network, deep boltzmann machine, recurrent neural network, convolutional neural network.

Este tipo de IA se ha podido desarrollar cada vez con más velocidad gracias a la evolución tecnológica, que permite mayor cantidad de datos disponibles, mayor poder de cómputo y mayor automatización de procesos.

El procesamiento natural del lenguaje (PNL) es un tipo de IA destinado al desarrollo de algoritmos, así como a la construcción de modelos que utilicen el lenguaje de la misma manera que los seres humanos (Bacic et al., 2020). Podemos observar el uso de estas tecnologías en herramientas como Siri, de la compañía Apple, o Alexa, de la compañía Amazon.

Los algoritmos de PNL se combinan con modelos de aprendizaje profundo para poder modelar relaciones lingüísticas cada vez más complejas que un simple reconocimiento de palabras. Estas combinaciones le permiten al PNL reconocer las palabras en su contexto, lo que da como resultado una mayor probabilidad de correcta interpretación, así como una mayor expansión del campo de aplicación del PNL.

Como menciona Abhishek (2020), este tipo de algoritmos se pueden observar en:

- Aplicaciones de reconocimiento de voz (Siri, Alexa, etc.).
- Desarrollo de chatbots, que les permiten a las compañías brindar servicios de atención a sus clientes de manera más automatizada.
- Traducción de textos en su contexto, que permite el análisis de los resultados de encuestas.
- Clasificación de candidatos durante el proceso de selección y reclutamiento de recursos humanos.
- Herramientas de búsquedas, como search autocorrect and autocomplete, la cual corrige o autocompleta las palabras a partir de que el usuario escriba dos o tres letras. Este algoritmo ha migrado a ser una de las funcionalidades más utilizada en buscadores de internet, teléfonos móviles y procesadores de texto.

Como ejemplo de las oportunidades que brindan los algoritmos de PNL, se puede encontrar la transcripción/dictado del informe a través del reconocimiento de voz. Esto aumenta la productividad. Otra oportunidad es la detección de errores, donde el informe puede mencionar erróneamente la extremidad inferior derecha. El algoritmo de PNL, por el tipo de estudio, puede detectar en base al contexto que se está haciendo referencia a un procedimiento que involucra a extremidad inferior izquierda. Esto puede tener un impacto significativo en caso de requerir una intervención quirúrgica. Dentro de los errores de género, los algoritmos pueden identificar situaciones donde para un paciente cuyos datos demográficos en el sistema se encuentra clasificado como femenino, se informen “valores normales en la próstata”, cuando

el órgano en cuestión corresponde al sexo masculino. En cualquiera de estos casos, el algoritmo puede levantar una alerta, evitando emitir un informe que podría dañar al paciente, o en su defecto dañar la credibilidad del especialista en diagnóstico por imágenes, como también de la institución.

Aplicación de inteligencia artificial en la medicina de precisión

Luego de la Segunda Guerra Mundial, el enfoque de la atención médica evolucionó hacia el cuidado de enfermedades contagiosas y accidentes laborales. Esta dirección continuó su desarrollo hasta la actualidad, en que los principales desafíos del sistema de salud son el envejecimiento poblacional, el aumento de las enfermedades crónicas, la mejora en el acceso a la cobertura de salud y el incremento de la productividad del sistema de salud en su conjunto.

La industria relacionada con la radiología produce nuevos equipos médicos que, por su alta resolución, permiten identificar muchas enfermedades en etapas tempranas gracias a su mayor nivel de definición de imágenes anatómicas.

Los enormes avances en bioinformática lograron establecer muchos protocolos y sistemas electrónicos de trabajo. En 1983, se creó el estándar DICOM (Digital Communication in Medicine), que permitió unificar el lenguaje electrónico de los diferentes equipos de imágenes, y el PACS (Picture Archiving Communication Systems), el cual permite recibir y adquirir imágenes de los equipos digitales, distribuirlas, archivarlas e, inclusive, enviarlas por medio de teleradiología (Ramírez, 2015).

Con la llegada de la transformación digital al área de salud, la tecnología genómica, la biotecnología, los sensores portátiles o la IA están modificando el sistema de salud de tres maneras complementarias. En primer lugar, colocan al paciente en el centro de atención. En segundo lugar, la generación de una gran cantidad de datos que requieren análisis avanzados da origen a la medicina de precisión (Mesko, 2017), es decir, la transformación cultural que está ocurriendo en la medicina: los médicos se enfocan en los pacientes y en la prevención, personalización y precisión de sus diagnósticos, en lugar de desarrollar tratamientos para poblaciones y tomar decisiones médicas basadas en determinadas características similares de los pacientes. Y, por último, la precisión de los diagnósticos, cuya piedra angular es el Departamento de Diagnóstico por Imágenes, donde el especialista en diagnóstico por imágenes es uno de los colaboradores claves.

El 20 de enero de 2015, el presidente Barack Obama, en su discurso sobre el Estado de la Unión (State of the Union), anunció el lanzamiento del proyecto Iniciativa de Medicina de Precisión (IMP), cuya misión es “permitir una nueva era de la medicina a través de la investigación, la tecnología y las políticas que permitan a los pacientes, investigadores y proveedores trabajar juntos hacia el desarrollo de una atención individualizada” (The White House, 2015, párr. 1).

A partir de esta iniciativa, Collins y Varmus (2015) complementan la definición provista por la IMP: no es un concepto nuevo, se aplica para las transfusiones de sangre desde hace más de un siglo. Los autores señalan que la perspectiva de aplicar medicina de precisión de manera amplia es posible debido:

“Al desarrollo reciente de bases de datos biológicas a gran escala (como la secuencia del genoma humano), métodos poderosos para caracterizar a los pacientes (como proteómica, metabolómica, genómica, diversos ensayos celulares e incluso tecnología de salud móvil) y herramientas computacionales para analizar grandes conjuntos de datos”. (párr. 3).

Collins y Varnus (2015) permiten comenzar a dilucidar un primer acercamiento a la importancia de la IA en la medicina de precisión para el desarrollo y análisis de grandes conjuntos de datos (big data analytics).

Mendonca y Tachinardi (2018) comparten su mirada respecto a los desafíos y problemas que implica llevar a la práctica la IA, y cómo debe ser regulada. Señalan que la IA debe tratarse como cualquier dispositivo especialista en diagnóstico por imágenes, fármaco o procedimiento, y que, como estos, debe cumplir el principio de no hacer daño. Los equipos y los nuevos medicamentos deben pasar por un proceso de aprobación estricto, el cual no se encuentra maduro en lo que respecta a la IA.

La mayoría de los métodos de IA (ML y AP incluidos) se basan en experiencias humanas y en la estrategia de entrenamiento. Estas dos cualidades determinan lo que, en última instancia, significa la calidad del conjunto de datos utilizado para el proceso de aprendizaje, lo que, a su vez, determina la calidad de los resultados alcanzados por el algoritmo. Respecto a imágenes médicas, donde la calidad de los datos suele ser de buena a excelente, se comienzan a observar resultados alentadores.

Ellahham et al. (2020) clasifican la aplicación de IA en dos categorías: virtual y física. La primera hace referencia a desarrollos informáticos, como el procesamiento de imágenes o la ficha médica electrónica. Mientras que la segunda hace referencia a la aplicación de IA en los avances mecánicos, por ejemplo, como robótica en cirugía y rehabilitación física.

Los autores Choy et al. (2018), en su publicación de 2018, describen las aplicaciones del aprendizaje automático en el área del diagnóstico por imágenes y cómo puede impactar de manera positiva en las distintas fases del flujo de trabajo del especialista en diagnóstico por imágenes.

El primer paso del flujo de trabajo es el de “programación de turnos y evaluación de pacientes. Si se aplican algoritmos de agendamiento inteligente, se puede optimizar la agenda del especialista en diagnóstico por imágenes y permitir la coordinación de las actividades, con el fin de reducir la probabilidad de no brindar la atención médica.

El segundo paso que describen hace referencia a la adquisición de la imagen. En este caso, los algoritmos pueden ayudar a reducir los tiempos de adquisición de imágenes, reducir errores de posicionamiento del paciente en el equipo, como también mejorar la calidad de imágenes con menor exposición a radiación para el paciente.

El próximo paso se dedica al análisis de la calidad de la imagen. Los puntos por trabajar aquí se refieren a la clasificación de las imágenes claves para poder realizar un el diagnóstico del estudio, como así también mejorar imágenes adquiridas con baja dosis de radiación.

En cuarto lugar, se encuentra la detección automática de hallazgos. Como su nombre bien lo indica, este punto trata de la detección automática de lesiones, que ya se aplica en la actualidad como sugerencias en estudios de mamografía, ultrasonido, resonancias magnéticas y tomografías.

En quinto lugar, se ubica la interpretación automática de los hallazgos. Este paso del flujo de trabajo requiere importantes volúmenes de datos para que los algoritmos de aprendizaje profundo puedan entrenarse. Así y todo, estos hallazgos deben siempre ser validados por los especialistas en diagnóstico por imágenes.

En sexto y séptimo lugar, se presenta la automatización de decisiones clínicas como también el posprocesamiento de imágenes. Estos pasos hacen referencia a que el algoritmo tome decisiones clínicas y seleccione e identifique las imágenes claves donde se observan los hallazgos. Con base en el criterio mencionado al inicio de este punto, los algoritmos deben

cumplir el enunciado de “no hacer daño”, por lo que aún requieren mayor desarrollo y validación.

El siguiente punto hace referencia al análisis del informe especialista en diagnóstico por imágenes, donde se observa el potencial de mejoras, como la aplicación de algoritmos de procesamiento natural del lenguaje, y, en combinación con otros algoritmos, generar información adicional, como, por ejemplo, mediciones médicas que se puedan aplicar en otros ámbitos.

Finalmente, se encuentran oportunidades para la estimación automática de dosis de radiación como así también la integración a otros sistemas.

Riesgos y oportunidades en el uso de inteligencia artificial en medicina

De acuerdo con Mesko (2017), el uso de IA traerá consideraciones éticas y asuntos legales. El autor plantea los siguientes cuestionamientos: ¿Quién tiene la culpa si un sistema de IA toma una decisión equivocada? ¿Quién construirá barreras y controles de seguridad en los algoritmos?

Como se cuestiona en el párrafo anterior, se puede establecer que el principal riesgo en el uso de IA hace referencia a la seguridad y posibles daños a pacientes. Podemos mencionar varios puntos que tener en consideración: calidad del conjunto de datos, impacto inconsciente (la no inclusión de outliers), niveles de confianza del análisis, falla en el aprendizaje, violación de información de identificación personal y pocos controles al momento del desarrollo de los algoritmos (Ellahham et al., 2020).

Como complemento de lo dicho por el autor, podemos incorporar riesgos de seguridad informática, como ser el hackeo de los algoritmos. Otro punto para tener en consideración con la utilización de redes neuronales artificiales y el aprendizaje profundo es que, en ocasiones, los resultados suelen no ser interpretables. En contrapartida sucede que, debido a la complejidad de los algoritmos, llegan a considerarse “cajas negras”, lo que significa que los especialistas en diagnóstico por imágenes no pueden explicar el porqué de los resultados que está logrando la tecnología a pesar de que sean positivos (Ravi et al., 2017).

El McKinsey Global Institute (2019) estimó que la IA estaría creando valor por un monto superior a los 300 mil millones de dólares. Adicionalmente, las diferentes tecnologías de IA pueden lograr la eficiencia tanto en los equipos médicos al incrementar el volumen de estudios diarios por equipo como así también en los flujos de trabajo. En estos últimos, se puede mencionar la eficiencia en la transcripción de informes, en la automatización de acceso

a las imágenes, en las mejoras en cuanto a agendamientos, facturación, etc. Como complemento del punto anterior, la generación de un gran volumen de datos permitirá mejorar el proceso de soporte de toma de decisiones.

Las mejoras mencionadas permiten al sistema de salud mejorar las condiciones necesarias para acelerar la aplicación y ejecución de la medicina de precisión. A partir de estas mejoras, la definición del perfil de especialista en diagnóstico por imágenes y su posterior evolución será clave para la correcta adopción de estas tecnologías por parte de las instituciones médicas.

De acuerdo con Topol (2019), el mayor potencial a largo plazo de la IA es alcanzar un nivel de volumen de datos que permita su utilización para la construcción de digital twins. Este concepto se define como el equivalente virtual digital de un elemento físico que consta de tres componentes principales, que son “productos físicos en el espacio real, productos virtuales en el espacio virtual, y las conexiones de datos e información que unen los productos virtuales y reales” (Grieves, 2014, como se citó en Tadayoni et al., 2020: 11).

Habiendo considerado tanto las ventajas como desventajas de la IA, se requiere la creación de estándares éticos sobre su uso que estén acordados por todo el sector de salud. También se requerirá la creación de reglas para la construcción y validación de fallas y control de los algoritmos.

Será fundamental la capacitación de los distintos actores del sistema de salud (personal especialista en diagnóstico por imágenes, administradores y pacientes), para un correcto entendimiento del funcionamiento y uso de las diferentes herramientas de IA, como su capacidad para medir la efectividad de las tecnologías.

Por último, será clave la coordinación y comunicación entre los proveedores que desarrollan soluciones de IA, con el fin de asegurar que sus soluciones e investigaciones sean validadas y revisadas por pares, como así también una comunicación clara hacia el público en general sobre las posibles ventajas y riesgos del uso de IA en medicina.

Tecnologías que se encuentran disponibles en la medicina de precisión

Dado el alcance de este estudio limitaremos las tecnologías por evaluar a aquellas que se centren en áreas de diagnóstico médico e imágenes o que tengan un impacto directo en las actividades del especialista en diagnóstico por imágenes (se excluyen imágenes generadas por equipamiento especialista en diagnóstico por imágenes como ultrasonido y equipos cardíacos).

Se procederá a listar solo algunas de las tecnologías provistas por tres de las principales compañías de soluciones médicas que operan en el mercado de salud argentino. Las compañías en cuestión son Royal Philips, Siemens Healthineers y General Electric Healthcare.

Royal Philips enumera once soluciones dentro de sus categorías de Diagnosis and treatment. Estas tecnologías pueden ser agrupadas en mejoras técnicas de equipamiento especialista en diagnóstico por imágenes, mejoras para la adquisición de imágenes y plataformas, y herramientas para el apoyo de la realización del informe especialista en diagnóstico por imágenes. Aquellas tecnologías que impactan directamente en la actividad del especialista en diagnóstico por imágenes son las siguientes:

Smart Exam: Apoya el flujo de trabajo con geometrías de escaneo generadas automáticamente.

MRCAT: Utiliza modelos entrenados con IA para el cálculo, que proporcionan información anatómica detallada y atenuación para el cálculo de dosis.

Intellispace Discovery: Proporciona aplicaciones y herramientas para que los especialistas en diagnóstico por imágenes agreguen y normalicen datos, que se pueden visualizar y anotar para entrenar y validar algoritmos de aprendizaje profundo.

Intellispace Portal: Combina datos clínicos de diversas modalidades que utilizan IA para mejorar los flujos de trabajo clínicos.

IntelliSpace Precision Medicine: Integra información en diferentes dominios clínicos, como radiología, patología y genómica, e incorpora todos los datos médicos y de pacientes clave en un solo lugar para proporcionar una visión clara e intuitiva del estado del paciente en su enfermedad y contexto.

IntelliSpace AI Workflow Suite: Se integra en la infraestructura hospitalaria, organiza automáticamente el direccionamiento de los datos clínicos a la aplicación de IA adecuada dentro del ecosistema del proveedor de atención médica para permitir el análisis de datos sin la interacción del usuario y muestra los resultados. Los usuarios pueden revisar la lista de pacientes para los que se han ejecutado una o más aplicaciones de IA, seleccionar un paciente en particular, revisar los resultados de la aplicación de IA para este paciente en particular en una vista detallada, aceptar o rechazar los resultados y proporcionar un mensaje de texto. Dentro de esta plataforma, se encuentran las soluciones más extendidas en la radiología en Argentina.

Como las soluciones de sistemas de información radiológica más conocida como “RIS”. Adicionalmente, se encuentra el sistema de comunicación de archivo de imágenes, o PACS, y también el sistema de información hospitalario, o HIS.

Siemens Healthineers enumera más de 63 soluciones que incorporan IA. Nos enfocaremos en la categoría de Artificial Intelligence in Radiology. La compañía no brinda mayor detalle de su tecnología, pero las agrupa en dos tipos:

AI Rad Companion: Proporcionan un posprocesamiento automático de conjuntos de datos de imágenes a través de algoritmos impulsados por IA. La automatización de los flujos de trabajo de rutina con tareas repetitivas y grandes volúmenes de casos ayuda a facilitar el flujo de trabajo diario. El algoritmo procura resaltar automáticamente las anomalías, segmenta las anatomías y compara los resultados con los valores de referencia.

AI-Pathway Companion: Esta tecnología procura soporte a la toma de decisiones clínicas. El sistema tiene como objetivo integrar los datos longitudinales del paciente y correlacionar los conocimientos de las imágenes, la patología, el laboratorio y la genética. Adicionalmente, intenta brindar información para el análisis de datos e indicadores clave de rendimiento.

Adicionalmente, Siemens Healthineers, incluye una categoría de Imaging IT, donde podemos encontrar soluciones similares a las mencionadas por Philips. En esta categoría, se encuentran las siguientes:

Soluciones de visualización avanzada: La solución syngo.via una solución de software inteligente para la lectura de múltiples modalidades.

Soluciones de flujo: En esta categoría, se encuentran las soluciones de RIS, administración, estadísticas, reconocimiento de voz, etc.

VNA Software: Soluciones de archivo y para compartir imágenes en la nube. Dentro de esta solución, se encuentran las soluciones de PACS, herramienta de diagnóstico, etc.

Enterprise Imaging IT y Enterprise Viewing: Esta categoría consolida e integra todas las soluciones de la compañía para que se integren dentro de una institución médica.

En los últimos años, General Electric HealthCare (GEHC) ha estado consolidando todas sus soluciones digitales dentro de su plataforma Edison. Esta compañía describe la plataforma como diseñada para lograr una mayor eficiencia, mejorar los resultados de los pacientes y aumentar el acceso a la atención. Integradas en los flujos de trabajo existentes, las aplicaciones de Edison pueden integrar y asimilar datos de fuentes dispares y aplicar análisis

o algoritmos avanzados para generar conocimientos clínicos, operativos y financieros. Las soluciones de Edison se pueden implementar de forma segura a través de la nube, Edison HealthLink o directamente en dispositivos inteligentes.

Se procede a listar las principales aplicaciones que utilizan IA y que impactan directamente en el flujo de diagnóstico por imágenes:

Critical Care Suite: Analiza automáticamente las imágenes al momento de la adquisición, en busca de hallazgos críticos (neumotórax), y produce notificaciones de triaje enviadas directamente al PACS.

TrueFidelity™ CT Images: Utiliza aprendizaje profundo para la reconstrucción de imágenes para generar imágenes con detalles profundos, textura real y alta fidelidad para cada tomografía computarizada.

AIR™ Recon DL: Es una aplicación de aprendizaje profundo diseñada para mejorar la relación señal-ruido y la nitidez de la imagen, lo que permite tiempos de escaneo más cortos.

Edison Open AI Orchestrator: Simplifica la selección, implementación y uso de IA en flujos de trabajo de imágenes a escala.

AIR x™: Permite la colocación precisa de cortes para proporcionar exploraciones rápidas y consistentes independientemente de la posición del paciente, el tiempo entre exploraciones o el técnico.

Mural: Asigna prioridades a la atención del especialista en diagnóstico por imágenes en los casos de pacientes más críticos y ayuda a reducir el tiempo de intervención.

Imaging Insights: Proporciona un detalle de la flota de equipamientos (de múltiples proveedores, de múltiples modalidades) y brinda un resumen de utilización de activos, protocolos y dosis, como así también indicadores de calidad, de experiencia del paciente y métricas de derivación.

En términos generales, las principales soluciones en el mercado que ya incluyen diferentes tipos de IA son el RIS, PACS, portales y, en menor medida, el HIS. El primero permite optimizar el flujo de trabajo como también la reducción de errores en datos demográficos mediante la integración entre los equipos médicos, las listas de trabajo y el PACS. Las estaciones de trabajo con PACS facilitan al especialista en diagnóstico por imágenes la revisión e interpretación de estudios en un sitio. La tendencia de mercado es que las estaciones de trabajo de radiología permitan informar acerca de la mayor cantidad de estudios, de diferentes equipos médicos de la institución, de manera centralizada; mientras que los portales facilitan la distribución de los estudios médicos con sus informes para los

pacientes, como así también la distribución de los resultados para los médicos solicitantes/referentes.

Inteligencia artificial en la actualidad COVID-19

A partir del procesamiento natural del lenguaje, se desarrollaron tres algoritmos para monitorear e identificar resultados positivos de enfermedades respiratorias típicas de COVID-19. Los algoritmos se aplicaron a 450114 informes de tomografías de tórax, obtenidas de más de 2100 unidades médicas interconectadas, distribuidas por todos los Estados Unidos, por el período que abarca desde el 1ro. de enero de 2020 hasta el 3 de octubre de 2020. Sobre la base del aprendizaje automático, se pudieron rastrear los hallazgos detectados en los informes de imágenes de enfermedades respiratorias, obtenidos a través de las imágenes de tomografía computarizada de tórax y se identificó una fuerte correlación con la progresión de la pandemia de COVID-19 en los Estados Unidos (Cury et al., 2021).

Los departamentos de imágenes en el sistema de salud y el rol del especialista en diagnóstico por imágenes

El sistema de salud argentino se compone de tres sectores, el público, el seguro social obligatorio y el sector privado. El sector público presta atención gratuita a toda persona que lo requiera. Está conformado por la red de hospitales y centros de salud públicos cuyos recursos son provistos y gestionados a nivel municipal, provincial y nacional. El sector del seguro social obligatorio presta cobertura a los trabajadores asalariados y sus familias, de acuerdo con la rama de su actividad. Esta organizado a través de las Obras Sociales (OS) y el Instituto Nacional de Servicios Sociales para Jubilados y Pensionados/Programa de Asistencia Médica Integral (INSSJyP - PAMI). Este último brinda cobertura a los jubilados del sistema nacional de previsión y a sus familias. Los recursos son provistos por contribuciones de los trabajadores y de los empleadores y, en determinadas ocasiones, pueden ser provistos por las provincias o por el gobierno nacional.

Por último, el sector privado se descompone en tres grandes grupos: en primer lugar, podemos nombrar a las empresas de medicina prepaga (EMP), las cuales son entidades de seguro voluntario que agrupan múltiples prestadores de servicios, como clínicas, sanatorios y hospitales privados. En segundo lugar, podemos mencionar establecimientos asistenciales contratados por las OS, y, por último, profesionales que prestan servicios independientes a pacientes que pueden estar asociados a OS o a EMP.

En 1989 se emitieron las leyes 23660 de Obras Sociales y la ley 23661, que da origen al Seguro Nacional de Salud. Luego de múltiples decretos y resoluciones, en la actualidad se encuentra vigente el Programa Especialista en diagnóstico por imágenes Obligatorio (PMO) regulado por la resolución 1991/2005(Boletín oficial 5/1/2006). El PMO comprende un conjunto de prestaciones muy amplio, que cubre el 95 % de las consultas ambulatorias, atención quirúrgica y hospitalaria, odontológicas, etc. Las OS nacionales y las EMP están obligadas a atender el PMO bajo supervisión de la Superintendencia de Servicios de Salud que depende del ministerio de Salud.

El área de imágenes diagnósticas es considerada en la actualidad el área donde se genera una de las mayores tasas de crecimiento en la generación de datos e imágenes gracias a los continuos avances tecnológicos en los equipamientos especialista en diagnóstico por imágenes.

Así como se da el incremento de datos e imágenes, también se presenta un aumento en la carga laboral de los médicos dado el incremento de imágenes por estudio realizado, la multiplicación de las actividades de investigación y la alta prevalencia de las enfermedades.

Desde un punto de vista económico, esta área se encuentra dentro de las cinco áreas más rentables en las instituciones de la salud y es considerada una de las áreas que permite el ingreso de nuevos pacientes para las instituciones del sector privado. Como se mencionó anteriormente, la tendencia del sector es avanzar hacia la medicina de precisión, por lo cual el Departamento de Imágenes es una de las áreas donde se plantean nuevos desafíos de productividad y calidad de atención.

De acuerdo con el informe de Núñez et al. (2020), la región de América Latina y el Caribe está posicionada en un nivel de desarrollo intermedio respecto a otras regiones del mundo en términos de desarrollo de su ecosistema digital, dado que muestra una moderada tasa de crecimiento anual de su digitalización.

En el caso de instituciones privadas, el proceso combina pasos manuales y otros automatizados, que culminan en la entrega de informes y estudios, y se efectúan a través de la impresión de las imágenes (proceso analógico).

A continuación, se procederá a describir de manera superficial el proceso que sigue el Departamento de Imágenes. El flujo que sigue se inicia con la orden y solicitud del servicio. Este paso consiste en la emisión de una orden médica en papel por parte de un especialista en diagnóstico por imágenes referente (aquel que solicita el estudio). A partir de allí, el paciente gestiona una solicitud de servicio.

El segundo paso corresponde a la recepción del paciente en la institución que llevará a cabo el estudio. Este arriba a la institución y, en la recepción, se tipea la orden médica y se verifican los datos demográficos como así también su cobertura de salud (OS, EMP). En aquellas instituciones con consultorios externos, guardías o salas de emergencia, se puede evitar el paso de gestionar una solicitud de servicio a través de una derivación interna del paciente. Una vez validada la información, en caso de requerirse y según el tipo de estudio que se realice, se le solicita el llenado de formularios. Luego, se procede al escaneo de esos formularios y, a partir de allí, incluir al paciente en la lista de trabajo del técnico que realizará el estudio y la captura de las imágenes.

El tercer paso es la captura. En esta etapa, el técnico realiza el examen y lo marca como finalizado en su lista de trabajo, documenta en la planilla técnica y vuelca la información al sistema (escaneo de planilla técnica).

En cuarto lugar, se encuentra la lectura, diagnóstico y confección del informe. El especialista en diagnóstico por imágenes recibe las planillas técnicas, y comienza con la generación del informe. El especialista en diagnóstico por imágenes puede dictar a una cinta o dispositivo digital para su transcripción y resaltar los puntos críticos; validar con el especialista en diagnóstico por imágenes referente para que, luego, la transcripcionista genera la versión final del informe. Por último, el especialista en diagnóstico por imágenes verifica el informe y lo firma.

Finalmente, se procede con la distribución. En esta etapa, se actualiza la ficha del paciente y se le entregan el estudio y el informe correspondiente.

Ante la falta o escasez de especialistas en diagnóstico por imágenes, sobre todo en especialidades como mamografía y expertos en oncología, las instituciones privadas de salud están incrementando sus inversiones en tecnología en el Departamento de Imágenes con el objetivo de poder adaptarse a los nuevos desafíos de la salud. Estas inversiones están orientadas en el avance hacia la medicina de precisión y procuran agregar valor al servicio de imágenes maximizando la calidad, incrementando la colaboración entre especialistas en diagnóstico por imágenes y tratando de mejorar la calidad de vida.

Metodología del trabajo de campo

Con el propósito de entender cómo las inversiones en tecnología dentro de los Departamentos de Imágenes impactan en el perfil del especialista en diagnóstico por

imágenes se realizó un trabajo de campo, a través de dos actividades tendientes a obtener información del mercado.

La primera actividad constó de una encuesta de opción múltiple a 17 especialistas en diagnóstico por imágenes de Ciudad de Buenos Aires, Provincia de Buenos Aires, Chubut; Mendoza y Córdoba. Como características generales de este público se mencionan las siguientes: todos trabajan al menos en una institución privada, con más de cinco años de experiencia en posiciones similares, con un rango etario entre 35 y 50 años.

La segunda actividad fue una entrevista a tres ejecutivos de los tres proveedores de estas tecnologías que operan en el sector de salud argentino y de los cuales se brindó anteriormente un breve detalle de las tecnologías que ofrecen.

La encuesta constó de ocho preguntas, las cuales se focalizaron en las siguientes áreas:

- Entendimiento del concepto de IA.
- Nivel de utilización de IA.
- Riesgos y amenazas para el especialista en diagnóstico por imágenes.
- Potencial de IA para el especialista en diagnóstico por imágenes.
- Riesgos y oportunidades de IA en el Departamento de Imágenes Médicas.
- Evolución del perfil de especialista en diagnóstico por imágenes.

En lo que respecta a las entrevistas, se procedió también a buscar la opinión de las principales compañías que comercializan productos/soluciones de IA en la Argentina. Las entrevistas se focalizaron en cuatro puntos: los beneficios que provee la IA en el Departamento de Imágenes, los riesgos que conlleva en esta área, el potencial observado por las compañías en el uso de este tipo de tecnologías por los especialistas en diagnóstico por imágenes y, finalmente, cómo observan la evolución del perfil del especialista en diagnóstico por imágenes. Con el objetivo de relacionar las respuestas de los entrevistados, se utilizaron preguntas similares a las realizadas en la encuesta a especialista en diagnóstico por imágenes.

Resultados

Definición de IA: Se consultó sobre qué se entiende por IA, a partir de definición de Russell y Norvig (2004). Los encuestados podían seleccionar todas las opciones en caso de considerarlo. Ante esta pregunta el 76% de los encuestados definió la IA como la automatización de actividades para la toma de decisiones, la resolución de problemas y el

aprendizaje, mientras que, en segundo lugar, el 65% de los consultados consideró que la IA consiste en sistemas que buscan imitar el pensamiento lógico racional de los humanos. Un 12% definió a la IA como robots que realizan tareas de forma similar a como lo hacen las personas, y un 6% la definió como la imitación de manera racional del comportamiento humano.

Sobre el nivel de utilización de IA: De los consultados, el 53% informó que utiliza o ha utilizado algún tipo de IA.

Amenazas para el especialista en diagnóstico por imágenes: Un 17% de los encuestados considera que la IA es una amenaza para el especialista en diagnóstico por imágenes.

Reemplazo del especialista en diagnóstico por imágenes: Solo un 6% considera que será reemplazado.

Potencial: El 53% considera que permitirá reducir errores en la confección del diagnóstico, el 23,4 % considera que permitirá identificar nuevas patologías, un 17,6 % considera que permitirá ganar productividad debido a la reducción de captura de imágenes, y un 6 % considera que permitirá dedicar más tiempo al paciente.

Riesgos en el diagnóstico: El 65 % considera que la IA puede inducir a errores de diagnósticos, el 23 % considera que puede arrojar errores en la captura de la imagen y un 12 % considera que puede generar una pérdida/reducción de trabajo.

Beneficios de IA: Un 41 % expresa que permitirá identificar mejoras de productividad, un 23,5 % consideran que reducirá el tiempo de captura de imágenes. 23,5 % obtiene la reducción de tiempos de diagnóstico y, finalmente, un 12 % considera que permitirá una priorización de la atención médica.

Evolución del perfil del especialista en diagnóstico por imágenes con la adopción de IA: El 82 % expresó que será una herramienta adicional, un 12% considera que se limitará a confirmar el diagnóstico y un 6% considera que para determinados estudios será reemplazado por la IA.

Sobre la base de los resultados de las entrevistas, se puede inferir que el nivel de digitalización en el sector privado de salud en la Argentina se encuentra en torno al 52,9%, el cual se asemeja al valor intermedio estimado en el informe de Núñez et al. (2020) publicado por la CEPAL.

El principal riesgo lo constituyen los errores en el desarrollo o en el entrenamiento del algoritmo. Este punto hace referencia a la poca preparación que tienen los organismos de control para la autorización y validación de estas soluciones.

Adicionalmente, la velocidad de comercialización que buscan las compañías proveedoras apunta a la masificación de los productos, lo que puede llevar a no considerar particularidades geográficas, étnicas, etc. (determinados síntomas en países poco desarrollados, como la India, pueden ser poco comunes en países menos desarrollados). Un buen ejemplo es el caso provisto por una de las empresas proveedoras, que, por motivos de confidencialidad, solicitó no brindar detalles.

El caso en cuestión se centró en un cliente de Latinoamérica, donde se firmó un convenio para la incorporación de un sistema de ocho algoritmos integrados con la estación de trabajo del especialista en diagnóstico por imágenes especialista en diagnóstico por imágenes. La prueba piloto procuraba la incorporación de varios algoritmos de deep learning autorizados por el organismo de Estados Unidos, denominado Food and Drug Administration (FDA). Algunos de los algoritmos eran de detección de densidad ósea, hígado graso, calcio coronario, enfisema y sangrado cerebral, etc. Luego de cinco meses, el resultado del estudio arrojó que ningún algoritmo podía aplicarse en dicho país, debido a que la dosis de radiación autorizada por el gobierno era menor que la dosis requerida por el algoritmo. Este “pequeño” detalle generaba mayor ruido en las imágenes y el algoritmo no estaba entrenado para reconocer esos niveles de ruido, lo que generó muchos falsos positivos, por lo que hubo que dar por terminada la prueba.

Adicionalmente, existe un riesgo adicional, referido a las muchas soluciones desarrolladas por las propias instituciones, las cuales, al no ser comercializadas, en la actualidad no requieren autorizaciones de ningún tipo.

Por último, en las entrevistas se detectó la posible existencia de desmotivación para el ingreso de nuevos estudiantes en la carrera de especialista en diagnóstico por imágenes, lo cual puede acentuar aún más la escasez de profesionales en esta área.

Existe una visión compartida en lo que respecta a las oportunidades que brinda la IA; se pueden resumir como mayor precisión y rapidez en los informes diagnósticos. Ambas categorías permiten a los especialistas en diagnóstico por imágenes acelerar el proceso de informe y, como resultado, los pacientes pueden recibir un diagnóstico más preciso. Esto se traduce en el core de la medicina de precisión, dado que permite menores costos para las instituciones, debido a la posibilidad de llevar a cabo un tratamiento más certero, el cual implica menores costos de internación, prevención de enfermedades. Todo esto concluye en que el paciente puede evolucionar más rápidamente y con una mayor calidad de atención

médica, dado que se atacan directamente los desafíos del sistema en cuanto a un mejor acceso a la salud y la productividad.

Existen oportunidades de incremento de productividad que no impactan en los pacientes, sino que permiten mejorar la eficiencia de los especialistas en diagnóstico por imágenes y la optimización del flujo de trabajo. Las compañías proveedoras de soluciones de Healthcare IT (soluciones de tecnología de información para la salud) tienen una amplia variedad de soluciones, que permiten automatizar flujos, reducir tiempos de captura de estudios (GE AIR™ Recon DL), distribución de imágenes (PACS), sistemas de información hospitalarios o para radiología (HIS, RIS). Estas tecnologías impactan directamente en la definición de un nuevo perfil de especialista en diagnóstico por imágenes especialista en diagnóstico por imágenes.

A partir de los resultados y de las entrevistas, se pueden encontrar coincidencias respecto al potencial de la IA entre los proveedores y los especialistas en diagnóstico por imágenes. Estos puntos en común se perciben como la mejora de productividad, como se trató previamente.

La tendencia del sistema de salud, como ya se dijo, es migrar hacia la medicina de precisión, lo que significa una mejor calidad de atención y mayor foco en el paciente.

Tanto las instituciones como las proveedoras de IA procuran brindar soluciones para acelerar este proceso. El conflicto se presenta al ser solo el 6% de los especialistas en diagnóstico por imágenes quienes observan que la IA puede apoyarlos en acelerar la adopción de la medicina de precisión, con el fin de dedicar más tiempo a la atención del paciente.

Las mejoras de productividad que puede brindar la IA están muy asociadas a la aplicación de algoritmos de aprendizaje profundo. De acuerdo con lo definido en los conceptos mencionados, requieren un gran volumen de datos para que los algoritmos mejoren la vía de aprendizaje y el incremento de volumen de datos provenientes de los nuevos desarrollos tecnológicos alimenta este perfeccionamiento de los algoritmos.

Con base el párrafo anterior, y considerando la baja percepción que tienen los especialistas en diagnóstico por imágenes con respecto a la dedicación de más tiempo a sus pacientes, se puede inferir que aún existe falta de claridad por parte de los especialistas en diagnóstico por imágenes respecto a los beneficios que trae la IA. Esta relación se puede sustentar sobre la base del resultado de los riesgos y amenazas detectadas, a través de la encuesta, en la que el 17 % de los encuestados considera que la IA es una amenaza para el especialista en diagnóstico por imágenes y, que el 12 % de los especialista en diagnóstico por

imágenes considera que pueden ver reducida su carga de trabajo, como también aquellos que, en menor medida, un 6 %, considera que la IA reemplazará al especialista en diagnóstico por imágenes.

Esta falta de visibilidad de oportunidades para mejorar la dedicación con el paciente puede asociarse con el incremento de carga de trabajo que está recayendo en los especialistas en diagnóstico por imágenes. Este incremento de volumen se debe principalmente a la mayor cantidad de estudios que se realizan como también a la escasez de especialistas en diagnóstico por imágenes de acuerdo a como se menciona en el trabajo publicado por Valdés Solís y Martínez Serrano en 2020 titulado “Las cargas de trabajo en radiología”.

Desde el punto de vista de los especialistas en diagnóstico por imágenes encuestados, el 100 % concuerda con que el perfil de especialista en diagnóstico por imágenes se verá impactado. Estas respuestas se pueden vincular con el nivel de uso de IA, ya que más del 50 % utiliza o ha utilizado esta tecnología.

Adicionalmente, de la encuesta, se puede inferir que el uso de los algoritmos es una realidad, dado que la mayoría considera que esta tecnología será una herramienta y que, en determinados casos, podrá emitir un informe con diagnóstico y, en menor medida, reemplazar al especialista en diagnóstico por imágenes.

De acuerdo con las compañías proveedoras de tecnologías, el perfil de especialista en diagnóstico por imágenes evolucionará hacia un rol más especializado y técnico, en el que se ampliarán sus responsabilidades hacia otras ramas de la medicina con las que, en la actualidad, no se encuentran involucrados. Comparten una preocupación respecto a la falta de actualización de los currículos de las carreras para la formación de los futuros especialistas en diagnóstico por imágenes.

Sobre la base de las tecnologías disponibles, se puede establecer que los proveedores de tecnologías enfocan el desarrollo de sus soluciones, con el fin de que las instituciones logren un incremento de productividad, apuntando a dos áreas específicas. La primera de ellas es el incremento de productividad de los especialistas en diagnóstico por imágenes, lo que se puede traducir en una mejora de productividad para las instituciones, como también en un aumento de ingresos para los especialistas en diagnóstico por imágenes, dada la tendencia cada vez mayor a que su remuneración esté asociada a la cantidad de estudios informados.

La segunda área se focaliza en desarrollar la productividad a través de la mejora en el flujo de trabajo. En esta área, se observa el mayor impacto en el perfil del especialista en diagnóstico por imágenes, como las mayores posibilidades para expandir las oportunidades de

trabajo como también mejorar la calidad de vida atacando, de esta manera, las principales preocupaciones de los especialistas en diagnóstico por imágenes.

3. CONCLUSIONES

En la actualidad, existen instituciones que ya aplican algún grado de telemedicina en procura de obtener provecho de los beneficios que brinda. Los desafíos más importantes que se observan están relacionados con la poca infraestructura disponible en telecomunicaciones al alejarse de las grandes ciudades como también a las herramientas de financiamiento para llevar a cabo este tipo de proyectos. Este último es importante, dado que, hasta no alcanzar una masa crítica de estudios, puede llevar a que el proyecto sea inviable.

Otro desafío no menor, y que limita los resultados de productividad que brinda la telerradiología, está asociada a la poca coordinación entre el Estado, las OS, las EMP y las organizaciones que representan a los especialistas en diagnóstico por imágenes en el país; estas son la “Federación Argentina de Asociaciones de Radiología, Diagnóstico por Imágenes y Terapia Radiante” (FAARDIT) y la “Sociedad Argentina de Radiología” (SAR). Todos estos actores deben coordinarse para trabajar en la estandarización de protocolos de telemedicina, en la puesta al día de la legislación pertinente, en la generación de rondas de inversiones para el desarrollo de la telemedicina como también procurar la eliminación o flexibilización respecto a las limitaciones que presenta el sistema de matriculación provincial. Este es un punto que genera conflicto al momento de querer realizar el cobro de los estudios entre las OS, EMP e instituciones médicas.

Otro desafío importante es la actualización de los planes educativos que promueven e incentivan la formación de nuevos profesionales en radiología y sus subespecialidades.

Respecto a los desafíos que presenta el PNL, las organizaciones, las instituciones y el Estado deben unir esfuerzos para poder confeccionar un diccionario especialista en diagnóstico por imágenes que permita a los desarrolladores entrenar los algoritmos con una gran cantidad de volumen de datos sobre morfología, sintaxis, semántica en el mundo de la medicina.

Tampoco podemos dejar de mencionar el desafío de trabajar sobre la desconexión existente entre los objetivos hacia la medicina de precisión y la percepción que tienen los especialistas en diagnóstico por imágenes.

Con relación al perfil del especialista en diagnóstico por imágenes el principal desafío es migrar hacia un especialista en diagnóstico por imágenes IT oriented (orientado a la tecnología), lo que le permite adoptar las herramientas de tecnología y hacer buen uso de ellas. Esta orientación del especialista en diagnóstico por imágenes será clave para el desarrollo de nuevas tecnologías y su testeo y aplicación.

Otra habilidad que se deberá desarrollar es la de consultor para los médicos clínicos. En la actualidad, son muy pocos los diagnósticos que se realizan sin la necesidad de llevar a cabo algún tipo de estudio de imágenes. Esta habilidad de consultor también llevará a un trabajo cada vez más colaborativo.

Además, los mismos especialistas en diagnóstico por imágenes deberán profundizar sus conocimientos con mayor nivel de especialización y abordar otras áreas que, en la actualidad, no se encuentran dentro de su especialización, como patología, ultrasonido.

En caso de querer aplicar este modelo, un especialista en diagnóstico por imágenes debe contar con matrículas habilitantes de cada una de las provincias donde se efectúe la entrega del informe final. Este punto puede salvarse realizando la matriculación de todos los especialistas en diagnóstico por imágenes de la institución, pero incrementa el costo operativo del área y, en caso de no contar con las habilitaciones, se atenta contra uno de los beneficios de la telerradiología, que es la optimización de costos y de gestión de picos de carga de trabajo mediante la distribución del trabajo a otros especialistas en diagnóstico por imágenes que puedan apoyar con el diagnóstico.

Los distintos actores encuestados y entrevistados concuerdan en que se pueden clasificar los riesgos en tres grupos: seguridad (de paciente e informática), calidad de datos y compresión de la tecnología. A su vez, también existe coincidencia, con las oportunidades identificadas. Estas se asocian a mejoras de eficiencia y productividad, como también a la mejora del proceso de soporte para la toma de decisiones.

A pesar de las oportunidades, los especialistas en diagnóstico por imágenes compartieron su preocupación respecto a posibles errores de diagnóstico inducidos por la tecnología como también errores relacionados con la captura de imágenes. Es importante resaltar que las compañías proveedoras de este tipo de soluciones observan un riesgo adicional relacionado con la escasez de especialistas en diagnóstico por imágenes, empujado por la desmotivación que ocasiona el uso de IA para la formación de nuevos profesionales. Esta falta de motivación puede tener origen en la falta de comprensión del concepto de “medicina de precisión”, que se centra en un diagnóstico preciso, pero, sobre todo, en un

mayor foco en el paciente (no necesariamente más tiempo de relación del especialista con el paciente, sino con el médico clínico), la falta de comprensión de las oportunidades que arroja la IA y, por último, el poco conocimiento respecto a la escasez de especialistas en diagnóstico por imágenes, lo que brinda interesantes perspectivas laborales al momento de tomar una decisión sobre la formación profesional.

La vinculación de las diferentes soluciones de sistemas disponibles en el mercado permite entender cómo será la evolución del perfil del especialista en diagnóstico por imágenes. Las diversas soluciones pueden desarrollar el perfil apoyándose en la optimización del flujo de trabajo, la reducción de errores en datos demográficos en el proceso de recepción de pacientes (RIS), como también la combinación de las diferentes tecnologías, que permite la disponibilidad centralizada de imágenes obtenidas mediante diferentes equipos y posibilita que sean diagnosticadas e informadas desde un solo lugar (PACS).

Como resultado final, esta combinación permite, a través de los portales médicos y de pacientes, una mejor distribución y entrega de los informes a las personas interesadas. Estas soluciones, en conjunto con un mayor grado de especialización del perfil de los especialistas en diagnóstico por imágenes, se traducen en nuevas oportunidades de trabajo y, junto con la eficiencia en otros aspectos, buscar el logro de una mejora en la calidad de vida de los especialistas en diagnóstico por imágenes.

Por otra parte, a través del análisis de los resultados del trabajo de campo, se identificó una contradicción entre la tendencia de la industria de la salud y los especialistas en diagnóstico por imágenes. La primera se encuentra representada bajo el concepto de medicina de precisión, que, como ya fue comentado, se relaciona con diagnósticos precisos, individualizados y con mayor dedicación y foco en el paciente. A pesar de que las instituciones y los especialistas en diagnóstico por imágenes coinciden en el incremento de productividad que brinda la IA, la contradicción se presenta en que solo una minoría (el 6 % de los especialistas en diagnóstico por imágenes encuestados), percibe que la tecnología podrá apoyarlos para alcanzar el principal objetivo de la medicina de precisión, que es poner más foco en el paciente, por ejemplo, en tareas consultivas del especialista en diagnóstico por imágenes con el médico clínico.

En pos de procurar resolver este conflicto, se podría diseñar una propuesta que permita al especialista en diagnóstico por imágenes aumentar su valor a través del modelo de telemedicina. Esta implicaría una capacitación continua tanto en conocimientos médicos

como tecnológicos, que le permitan evolucionar en su perfil hacia una mayor especialización y empleabilidad.

Al considerar la relación entre la telemedicina y la aplicación de algoritmos de procesamiento natural del lenguaje, ambas tecnologías se potencian para valorizar aún más el perfil del especialista en diagnóstico por imágenes en todas las especialidades.

A medida que el perfil del especialista en diagnóstico por imágenes se vuelve más especializado y la medicina se vuelve cada vez más dependiente del análisis de imágenes, continúa el desafío de cerrar la brecha del acceso a la salud y de la calidad de atención entre las ciudades más desarrolladas y menos desarrolladas. La telemedicina apoyada en la IA y la evolución de perfil del especialista en diagnóstico por imágenes resulta una posible solución para reducir esta desigualdad y ayudar resolver la escasez de especialistas en diagnóstico por imágenes especializados.

Con base en lo anterior, y como se planteó en los desafíos institucionales, será clave que las instituciones, en conjunto con el Estado y las diferentes organizaciones que representan a los especialistas en diagnóstico por imágenes, trabajen coordinadamente para poder incentivar la formación de nuevos profesionales mediante una clara comunicación de cómo las nuevas tecnologías permiten aumentar el valor del especialista en diagnóstico por imágenes a través de una mayor especialización y expansión de las fronteras del mercado laboral para el especialista en diagnóstico por imágenes. El nuevo perfil permitirá una mejor atención de los pacientes y la evolución del especialista en diagnóstico por imágenes hacia nuevos perfiles, de los cuales, uno de ellos es el de ser garante de la validez de los algoritmos, como así también el de ser consultor clínico para sus pares dentro del sistema de salud.

Comparando las descripciones clásicas del perfil del especialista en diagnóstico por imágenes planteadas por la American Board of Radiology (2021) y Pitman et al. (2018) con los resultados de la presente investigación, se observa que la misión general del puesto y sus principales tareas podrían a futuro conservarse, con algunos agregados. Por un lado, la introducción de nuevas tecnologías y la IA permitirá a futuro acelerar la subespecialización, con el consecuente surgimiento de perfiles especializados. A su vez, el profesional requerirá nuevos y más sofisticados conocimientos técnicos en IT para la correcta adopción de las tecnologías. Y, finalmente, los especialistas en diagnóstico por imágenes se convertirán en custodios de la validez de los resultados médicos que proporcionen los algoritmos de inteligencia artificial.

Podemos concluir que, con la incorporación de la IA, el perfil del especialista en diagnóstico por imágenes aumenta su valor. El aprendizaje automático en forma de procesamiento de imágenes, visión por computadora y procesamiento natural del lenguaje son las tecnologías de IA clave que formarán los pilares de la nueva plataforma que redefinirá el futuro de la radiología.

REFERENCIAS BIBLIOGRÁFICAS

Abhishek, S. (2020). Top 10 Applications of Natural Language Processing (NLP). *Analytics Vidhya*. Recuperado de: <https://www.analyticsvidhya.com/blog/2020/07/top10-applications-of-natural-language-processing-nlp/> .

American Board of Radiologist, (2021). *Radiology Specialties*. <https://www.theabr.org/about/radiology-specialties> . (Fecha de consulta: 29 de Julio de 2021).

Baclic, O., Tunis, M., Young, K., Doan, C., & Swerdfeger, H. (2020). “Challenges and opportunities for public health made possible by advances in natural language processing”. *Canada Communicable Disease Report*, 161–168. <https://doi.org/10.14745/ccdr.v46i06a02> .

Belló, M. & Becerril-Montekio, V. M. (2011). “Sistema de salud de Argentina”. *Salud Pública de México*, 53(Supl. 2), 96-109. Recuperado de: http://www.scielo.org.mx/scielo.php?script=sci_arttext&pid=S003636342011000800006&lng=es&tlng=es . (Fecha de consulta: 11 de agosto de 2021).

Boucher, P. (2020). “Artificial intelligence: How does it work, why does it matter, and what can we do about it?” *European Parliamentary Research Service*. Recuperado de: [https://www.europarl.europa.eu/stoa/en/document/EPRS_STU\(2020\)641547](https://www.europarl.europa.eu/stoa/en/document/EPRS_STU(2020)641547) .

Choy, G.; Khalilzadeh, O.; Michalski, M.; Do, S.; Samir, A. E.; Pinykh, O. S.; Geis, J. R.; Pandharipande, P. V.; Brink, J. A. & Dreyer, K. J. (2018). “Current applications and future impact of machine learning in radiology”. *Radiology*, 288(2), 318–328. <https://doi.org/10.1148/radiol.2018171820> .

- Cirillo, D. & Valencia, A. (2019). Big data analytics for personalized medicine. *Current Opinion in Biotechnology* (Vol. 58, pp. 161–167). Elsevier Ltd. <https://doi.org/10.1016/j.copbio.2019.03.004> .
- Collins F. & Varmus H. (2015). “A New Initiative on Precision Medicine”. *The New England Journal of Medicine*. February 26, 2015; 372:793-795. <https://doi.org/10.1056/nejmp1500523> .
- Comisión Europea. (2021). *A definition of AI: main capabilities and disciplines*. Recuperado de: <https://digitalstrategy.ec.europa.eu/en/library/definition-artificial-intelligencemaincapabilities-and-scientific-disciplines> .
- Comisión Europea. (2016). *The EU Data Protection Reform and Big Data: Factsheet 2016* <https://publications.europa.eu/en/publication-detail/-/publication/51fc3ba6-e601-11e7-9749-01aa75ed71a1> .
- Cornejo, J. & Santilli, H. (2012). “La Historia Temprana de la Radiología en la Argentina”. *Revista de Historia de la Medicina y Epistemología Médica*. 4, 1-13. Recuperado de: https://www.researchgate.net/publication/233899165_La_Historia_Temprana_de_la_Radiologia_en_la_Argentina . (Fecha de consulta: 11 de Agosto de 2021).
- Cossy-Gantner, A.; Germann, S.; Schwalbe, N. R. & Wahl, B. (2018). “Artificial intelligence (AI) and global health: How can AI contribute to health in resource poor settings?”. *BMJ Global Health*, 3(4). <https://doi.org/10.1136/bmjgh-2018-000798>
- Cury, R. C., Megyeri, I., Lindsey, T., Macedo, R., Batlle, J., Kim, S., Baker, B., Harris, R., & Clark, R. H. (2021). “Natural Language Processing and Machine Learning for Detection of Respiratory Illness by Chest CT Imaging and Tracking of COVID-19 Pandemic in the United States”. *Radiology: Cardiothoracic Imaging*, 3(1), e200596. <https://doi.org/10.1148/ryct.2021200596> .

- Ellahham, S., Ellahham, N., & Simsekler, M. C. E. (2020). “Application of Artificial Intelligence in the Health Care Safety Context: Opportunities and Challenges”. *American Journal of Medical Quality*, 35(4), 341–348. <https://doi.org/10.1177/1062860619878515> .
- Jiang, F.; Jiang, Y.; Zhi, H; Dong, Y.; Li, H; Ma, S.; Sa., Y; Wang, Y; Dong, Q.; H. Shen, H. & Wang, Y.. (2017). “Artificial intelligence in healthcare: past, present and future”, *Stroke Vasc. Neurol.* (2). <http://dx.doi.org/10.1136/svn-2017-000101> .
- Facultad de Medicina de la Universidad de Buenos Aires. (2021). Curso de Tec. Especialista en diagnóstico por imágenes Universitario / Lic. en Producción de Bioimágenes. Recuperado de: <https://www.fmed.uba.ar/carreras/curso-de-tec/radiologo-universitario-lic-en-produccion-de-bioimagenes/informacion-general> .
- General Electric HealthCare. Recuperado de: <https://www.gehealthcare.com/products/edison> .
- Gonzalez, Georgina y Pieri Manuel G. (2017). “Historia de la Radiología”. *Rev. Cient. Esc. Univ. Cienc. Salud*, 4(1): 48 45-48.
- Ishak, W. H. W., & Siraj, F. (2002). “Artificial intelligence in medical application: An exploration”. *Health Informatics Europe Journal*, 16.
- McKinsey. (2019). *Driving impact at scale from automation and AI*. Recuperado de: <https://www.mckinsey.com/~media/McKinsey/Business%20Functions/McKinsey%20Digital/Our%20Insights/Driving%20impact%20at%20scale%20from%20automation%20and%20AI/Driving-impact-at-scale-from-automation-andAI.ashx> .
- Mendonca, E. & Tachinardi, U. (2018). “Artificial Intelligence and Medicine: ‘Times are a’changing’ ”. *J Health Inform*, 10(4), 1–2. Recuperado de: <http://www.jhi-sbis.saude.ws/ojsjhi/index.php/jhi-sbis/article/viewFile/684/347> .
- Mesko, B. (2017). “The role of artificial intelligence in precision medicine”. *Expert Review of Precision Medicine and Drug Development*, 2(5), 239–241. Taylor and Francis Ltd. <https://doi.org/10.1080/23808993.2017.1380516> .

Morra, L.; Delsanto, S. & Correale, L. (2019). *Artificial Intelligence in Medical Imaging*. CRC Press.
Recuperado de: <https://doi.org/10.1201/9780367229184> .

Molteni, M.. (2017). “If you look at X-Rays or Moles for a Living, AI is coming for your job”,
Wired. Recuperado de: <https://www.wired.com/2017/01/look-x-rays-moles-living/aicoming-job/> .

Núñez, G.; Negrete, F.; Bravo, J.; J. P.; Katz; Callorda, F.; Jung, J. CEPAL-SECRETARÍA
TÉCNICA DEL ELAC (*). (2020). *Digital Policy and Law Telecom Advisory services LLC*.
Recuperado de:
https://repositorio.cepal.org/bitstream/handle/11362/45360/4/OportDigitalizaCovid19_es.df . (Fecha
de consulta: 16 de Agosto de 2021).

Parlamento Europeo. (2020). “¿Qué es la inteligencia artificial y cómo se usa?”. Recuperado de:
<https://www.europarl.europa.eu/news/es/headlines/society/20200827STO85804/que-es-la-inteligencia-artificial-y-como-se-usa>

Pitman A.; Cowan, I. A., Floyd, R. A., Munro, P. L. (2018),. “Measuring radiologist workload:
Progressing from RVUs to study ascribable times”. *Journal of Medical Imaging and
Radiation Oncology*, 62, 605-618.

Ramírez AJL. (2015). “Desafíos de la especialidad de radiología en las siguientes décadas”. *Anales
de Radiología*, 14(1), 1-10.

Raval, K. M. (2012). “Data Mining Techniques”. *International Journal of Advanced Research in
Computer Science and Software Engineering* (Vol. 2, Issue 10, p 439-442). www.ijarcsse.com

Ravi, D.; Wong, C.; Deligianni, F.; Berthelot, M.; Andreu-Perez, J. & Lo, B.(2017). "Deep Learning
for Health Informatics". *IEEE Journal of Biomedical and Health Informatics*, 21(1), 4-21,
<http://dx.doi.org/10.1109/JBHI.2016.2636665> .

- Royal Philips. <https://www.philips.com/a-w/about/artificial-intelligence/ai-enabledsolutions.html>
- Russell, S. J. & Norvig, P. (2004). *Inteligencia artificial: un enfoque moderno* (2a ed.). Pearson Prentice Hall.
- Salmerón, S. P. (2005). “El Especialista en diagnóstico por imágenes experto”. *Anales de Radiología*. México, 4(4):364.
- Schuh, G.; Reinhart, G.; Prote, J. P.; Sauermann, F.; Horsthofer, J.; Oppolzer, F.; & Knoll, D. (2019). “Data Mining Definitions and Applications for the Management of Production Complexity”. *Procedia CIRP*, 81, 874–879. <https://doi.org/10.1016/J.PROCIR.2019.03.217> .
- Siemens Healthineers. <https://www.siemens-healthineers.com/en-us/infrastructureit/artificial-intelligence> .
- Tadayoni, R.; Maier-Rabler, U. & Angus, D. (2020). “Digital Twins in Healthcare”. Recuperado de: https://projekter.aau.dk/projekter/files/360456256/Jeske_MasterThesis.pdf .
- The White House. President Barack Obama. “The precision medicine initiative”. Recuperado de: <https://obamawhitehouse.archives.gov/precision-medicine> . (Fecha de consulta: 8 de Agosto de 2021).
- Topol, E. J. (2019). “High-performance medicine: the convergence of human and artificial intelligence”. *Nat Med* , 25, 44–56 (2019). <https://doi.org/10.1038/s41591-018-0300-7> .
- Valdés Solís, P. y Martínez Serrano, C. (2020). *Las Cargas de Trabajo en Radiología*. Sociedad Española de Radiología Médica [SERAM]. Recuperado de: https://seram.es/images/site/Cargas_trabajo_SERAM_julio2020.pdf .