

# Inteligencia artificial en otorrinolaringología: estado actual y perspectivas a futuro

## Artificial intelligence in otolaryngology: current status and future perspectives

Matías Talamilla P.<sup>1</sup>, Ignacio Vargas V.<sup>1</sup>, Irma Cisternas P.<sup>1</sup>, Michelle Viscaino S.<sup>2,3</sup>,  
Fernando Auat-Cheein<sup>2,3</sup>, Paul Délano R.<sup>3,4,5</sup>, Juan C. Maass O.<sup>5,6,7</sup>

<sup>1</sup>Escuela de Medicina, Facultad de Medicina, Universidad de Chile. Santiago, Chile.

<sup>2</sup>Departamento de Electrónica, Universidad Técnica Federico Santa María. Valparaíso, Chile.

<sup>3</sup>Centro Avanzado de Ingeniería Eléctrica y Electrónica, Universidad Técnica Federico Santa María. Valparaíso, Chile.

<sup>4</sup>Departamento de Neurociencia, Facultad de Medicina Universidad de Chile. Santiago, Chile.

<sup>5</sup>Departamento de Otorrinolaringología, Hospital Clínico de la Universidad de Chile, Facultad de Medicina Universidad de Chile. Santiago, Chile.

<sup>6</sup>Programa Interdisciplinario de Fisiología y Biofísica, Instituto de Ciencias Biomédicas, Facultad de Medicina, Universidad de Chile. Santiago, Chile.

<sup>7</sup>Departamento de Cirugía, Unidad de Otorrinolaringología, Clínica Alemana de Santiago, Universidad del Desarrollo. Santiago, Chile.

Los autores declaran no tener conflictos de interés.

Agradecemos el apoyo de ANID mediante los fondos Basal FB0008 (FAC) y ANID-PCHA/Doctorado Nacional/2018-21181420 (MV) para la realización de esta revisión.

Recibido el 18 de junio de 2021. Aceptado el 14 de octubre de 2021.

Correspondencia:

Juan C. Maass O.

Programa Interdisciplinario de Fisiología y Biofísica, ICBM

Facultad de Medicina

Universidad de Chile

Santiago, Chile.

Email: jmaass@yahoo.com

### Resumen

La inteligencia artificial posee una larga historia, llena de innovaciones que han dado como resultado diferentes recursos diagnósticos de alto rendimiento, que se encuentran disponibles actualmente. En este artículo se presenta una revisión sobre la inteligencia artificial y sus aplicaciones en medicina. El trabajo se centra en la especialidad de otorrinolaringología con el objetivo de informar a la comunidad médica la importancia y las aplicaciones más destacadas en los diferentes procesos diagnósticos dentro de la especialidad. Incluimos una sección para el análisis del estado actual de la inteligencia artificial en otorrinolaringología en Chile, así como los desafíos a enfrentar a futuro para utilizar la inteligencia artificial en la práctica médica diaria.

**Palabras clave:** Inteligencia artificial, otorrinolaringología, diagnóstico automático, aprendizaje automático.

### Abstract

*Artificial intelligence has a long history full of innovations that have resulted in different high-performance diagnostic resources currently available. This work has reviewed the artificial intelligence definition and its applications to medicine. We focused our review on otolaryngology's specialty to inform the medical community of the importance and the most relevant applications in the different diagnostic processes. We include an analysis of the current state of artificial intelligence in otolaryngology in Chile, and the challenges to be faced in the future to use artificial intelligence into daily medical practice.*

**Keywords:** Artificial intelligence, otolaryngology, automatic diagnosis, machine learning.

### Introducción

El término inteligencia artificial (IA) fue utilizado por primera vez en 1956 y se emplea de forma general para describir el uso de una computadora a fin de modelar comporta-

miento inteligente con mínima intervención humana. La Real Academia Española la define como la disciplina científica que se ocupa de crear programas informáticos que ejecutan operaciones comparables a las que realiza la mente humana, como el aprendizaje o el ra-

zonamiento lógico. La IA también constituye una rama de la informática, cuyo propósito es que las máquinas realicen tareas como lo haría un ser humano<sup>1</sup>. El espectro que comprende es amplio y va desde, el uso por computadores de un simple algoritmo o fórmula matemática para predecir el resultado de un proceso simple, hasta la toma de decisiones frente a fenómenos complejos en base a grandes cantidades de información o *big data*. El primer ejemplo insigne del potencial de la IA fue la computadora autónoma *Deep Blue* que superó al campeón mundial de Ajedrez, Garry Kasparov en 1997. Para lograr esto, *Deep Blue* se desarrolló con la información de posiciones de piezas de más de 700.000 juegos de ajedrez<sup>2</sup>. Sin embargo, junto con el *hardware* que la sustenta, su desarrollo ha sido exponencial tanto en complejidad como en capacidades. Casi 20 años después de que la IA pudiera vencer al campeón mundial de ajedrez vigente, *Alpha Go* derrotó al campeón mundial de Go –considerado como el juego clásico más difícil debido a la cantidad de posiciones, movimientos y piezas– Lee Sedol, en una partida oficial. Los desarrolladores programaron *Alpha Go* en base a una red artificial neuronal con la capacidad de “aprender” de la experiencia durante la partida. Para entrenarlo se utilizó una base de datos con más de treinta millones de movimientos<sup>3,4</sup>.

La IA ha tenido aplicaciones en varios campos tales como: la gestión de información, las matemáticas, la biología, y la arquitectura entre otros<sup>5</sup>. En el sector salud su aplicación ha sido amplia, variada y en constante perfeccionamiento, lo que ha ido de la mano con el desarrollo tecnológico para entregar herramientas que permitan incorporar nuevas prácticas en beneficio de los pacientes y clínicos. Actualmente, el uso de la IA en medicina se incorpora de forma paulatina, no con el objetivo de reemplazar al clínico, sino de apoyarlo y facilitar su gestión. Herramientas de IA aportan en un manejo adecuado del tiempo, eficacia y precisión<sup>6</sup>, reducir la posibilidad de errores médicos, sus costos, morbilidad y mortalidad; teniendo un rol secundario, de apoyo, ya que el médico mantiene la primera responsabilidad del manejo de sus pacientes.

Los principios en los cuales se sustenta la IA son los mismos que rigen la formación del

clínico, los cuales se resumen en conocimiento y experiencia, pero a una escala macro; por ejemplo, se estima que un radiólogo a lo largo de su vida profesional puede llegar a analizar 225.000 imágenes (tomografía computarizada TC/resonancia magnética RM) aproximadamente<sup>7</sup>, en contraste con la IA que puede analizar millones de imágenes con una mayor precisión y velocidad de procesamiento de información.

En Chile la aplicación de la IA en el área de la salud aún es vista como un terreno árido, alejado de la cotidianidad clínica, cuyo uso está circunscrito a unos pocos centros de información que se dedican a procesar datos. Sin embargo, el ideario colectivo no hace justicia al verdadero potencial y alcance de la IA. El objetivo de esta revisión es informar a la comunidad de otorrinolaringólogos/as de Chile sobre la IA, su definición, sus aplicaciones generales en el campo de la salud, y más específicamente en la otorrinolaringología (ORL). Para ello, se realizó una revisión del estado del arte de los 10 últimos años, consultando en bases de datos como PubMed, Scopus y Scielo; buscando las palabras clave: IA, medicina, otorrinolaringología.

## Medicina digital e inteligencia artificial

La digitalización de la medicina es un proceso que se desarrolla en conjunto con la evolución tecnológica, como el resultado de una tendencia global a la digitalización. Se estima que al año 2020 existían 2314 exabytes ( $10^{18}$  bytes) de datos médicos<sup>8</sup>. Existen dos niveles en la digitalización y análisis de datos; el primer nivel hace referencia a los datos de un paciente individual, datos que son generados en la consulta o tras la toma de exámenes, dichos datos ayudan a identificar si existe algún valor fuera de lo normal, por ejemplo, el uso de un electrocardiograma. El segundo nivel corresponde a las diferentes fuentes de datos (p.ej., ficha clínica, imagenología, resultados de laboratorio, entre otros), que son reunidos y fusionados, cuyo resultado permite a otro sistema obtener diagnósticos diferenciales y conclusiones; estos sistemas son los utilizados generalmente por la IA.

La IA se percibe como un conjunto de

varios subcampos, incluidos la robótica, la visión artificial, los sistemas expertos, el procesamiento natural del lenguaje y el aprendizaje automático; a menudo estos subcampos se superponen para ofrecer funciones y capacidades más avanzadas. Por ejemplo, los dispositivos robóticos se utilizan cada vez más en procedimientos quirúrgicos, mínimamente invasivos, como la cirugía asistida por robot para pacientes con cáncer colorrectal<sup>9</sup>. El procesamiento natural del lenguaje es otra área crucial de la IA que se utiliza para hacer que la máquina lea, comprenda e interprete el lenguaje humano. Un avance importante en este subcampo fue Watson, IA desarrollada por la empresa estadounidense IBM, capaz de analizar una pregunta formulada en lenguaje natural, procesar millones de datos en segundos, generar hipótesis y predecir desenlaces futuros (escoge la hipótesis que tiene un mayor nivel de confianza)<sup>10</sup>. Watson fue particularmente útil en la predicción del tratamiento para el cáncer pulmonar de células no-pequeñas avanzado, cuyo nivel de concordancia con el tratamiento médico real fue del 90,3% según un estudio publicado en Yao y cols.<sup>11</sup> Sin embargo, según este mismo estudio, Watson tendría la desventaja de que no estaría programado para analizar casos que no tuvieran evidencia publicada. En el subcampo de la visión artificial, que hace referencia a la adquisición y procesamiento de datos, se tienen avances como *image processing*<sup>7</sup>, el cual a través de un proceso matemático mejora una imagen con fines de claridad, recuperación de información específica o medidas de patrones. Las técnicas empleadas en visión artificial han sido útiles en radiología/oncología, facilitando el diagnóstico de cáncer de mama<sup>12</sup>, pulmón<sup>13</sup> y piel<sup>14</sup>, mediante el reconocimiento de patrones en imágenes.

El aprendizaje automático o aprendizaje de máquinas (*machine learning* en inglés) es otro subcampo de la IA, cuyo objetivo es desarrollar técnicas que permitan que las computadoras aprendan. Este subcampo incluye el aprendizaje profundo (*deep learning* en inglés) que ha provisto de algoritmos poderosos como las redes neuronales artificiales profundas. Las redes neuronales artificiales convolucionales se basan en computadores programados para actuar como neuronas humanas interconectadas

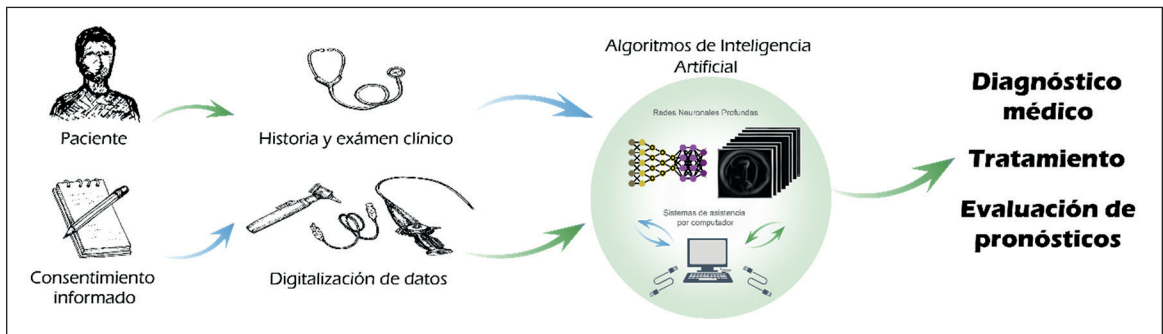
para emular la forma en que nuestro cerebro analiza y procesa la información. Éstas han sido útiles en medicina para realizar tareas de clasificación y reconocimiento; por ejemplo, en cardiología existen aplicaciones para realizar la lectura automática de electrocardiograma, ecocardiograma, angiografía donde también se detecta automáticamente calcificaciones, o en la tomografía computarizada por emisión de fotón único (SPECT) donde se utiliza para determinar de forma automática la perfusión<sup>15</sup>. En gastroenterología se emplean algoritmos de aprendizaje automático para el análisis de colonoscopia con el objetivo de detectar pólipos<sup>16</sup>. En oftalmología recientemente la FDA aprobó el primer dispositivo basado en IA que detecta automáticamente la presencia de retinopatía en pacientes con diabetes<sup>17</sup>.

## Aplicaciones de la IA en ORL

Las aplicaciones de la IA en ORL se han diversificado en la última década, tanto desde una perspectiva diagnóstica como terapéutica. En general, se ha propuesto la inserción de la IA en el flujo de trabajo médico como una herramienta, con la capacidad de procesamiento de datos clínicos digitales, que puede generar un diagnóstico clínico, proponer tratamientos o evaluar pronósticos (Figura 1). A continuación, presentamos una revisión de las aplicaciones de la IA por subespecialidad, incluyendo una tabla resumen por cada una, en la cual se detalla la contribución del estudio, los datos empleados y el examen médico asociado a cada uno. También se incluye un resumen de los algoritmos de IA empleados, así como el desempeño alcanzado en términos de precisión, sensibilidad y especificidad.

## Rinología y medicina del sueño

El uso de IA en rinología ha sido, principalmente, para mejorar la evaluación diagnóstica en imágenes de TC de cavidades paranasales. Por ejemplo, se ha evaluado la utilidad y precisión de una red neuronal convolucional en diferenciar la arteria etmoidal anterior adherida a la base del cráneo, o colgando de un mesenterio en imágenes de TC preoperatorias



**Figura 1.** Esquema general de la incorporación de la IA como herramienta diagnóstica o de tratamiento dentro del flujo de trabajo médico, en la especialidad de ORL.

de seno, logrando buena precisión diagnóstica (82,7%)<sup>18</sup>. Además, se entrenó una red neuronal convolucional con imágenes de TC coronal de dos estudios prospectivos para identificar la oclusión del complejo osteomeatal<sup>19</sup>. También se ha establecido una plataforma de evaluación que emplea IA para el diagnóstico con imágenes de biopsia de rinosinusitis crónica eosinofílica con pólipos nasales<sup>20</sup>. En Kim y cols.<sup>21</sup>, se utilizaron modelos de aprendizaje profundo para estimar en base a una serie de variables clínicas, histológicas e imagenológicas, los resultados quirúrgicos en pacientes con rinosinusitis crónica refractaria con pólipos nasales. En otro estudio, se buscó clasificar automáticamente las células obtenidas en una citología nasal, mediante una red neuronal convolucional, utilizando técnicas de procesamiento de imágenes<sup>22</sup>.

En estudios de medicina del sueño, también se han utilizado algoritmos de IA. Por ejemplo, las redes neuronales convolucionales se han empleado para identificar biomarcadores acústicos indicativos de la gravedad de trastornos respiratorios del sueño; el estudio analizó los sonidos respiratorios de 120 sujetos registrados durante polisomnografía de noche completa y alcanzó una precisión del 88,3% para cuatro diferentes grupos de biomarcadores<sup>23</sup>. Otros estudios desarrollaron métodos indirectos y de bajo costo para identificar episodios de apnea-hipopnea. Por ejemplo, a través del registro electrocardiográfico de una derivada conectado a través de señal *bluetooth* a un *smartphone*<sup>24</sup>; o a través del desarrollo de un dispositivo similar a un cinturón colocado a la altura del tórax, que

registra en tiempo real e integra la información de una derivada electrocardiográfica, temperatura y el patrón respiratorio del paciente, el dispositivo tiene la ventaja de poder ser usado por el paciente independientemente de la actividad que éste realice y durante todo el día<sup>25</sup> (Tabla 1).

## Laringología

En laringología, se han realizado estudios donde comparan el desempeño de una red neuronal convolucional frente a la evaluación visual clínica realizada por otorrinolaringólogos para identificar lesiones laríngeas benignas, precancerosas y cancerosas en un conjunto de imágenes de laringoscopia, obteniendo valores de sensibilidad y especificidad superiores al 90%<sup>26,27</sup>. En base a esto, se ha diseñado un sistema diagnóstico automático para detectar cáncer de laringe y lesiones laríngeas premalignas en imágenes laringoscópicas<sup>27</sup>. También se ha generado un sistema basado en aprendizaje profundo para diferenciar muestras de voz normales y patológicas (de ocho trastornos clínicos comunes, siendo los de más relevancia nódulos, pólipos, quistes submucosos y tumores), validando su precisión con respecto a otros métodos de clasificación automática<sup>28</sup>. Otra aplicación utilizó algoritmos de aprendizaje automático para generar una herramienta diagnóstica no invasiva y apoyar al médico en la clasificación de trastornos de la voz, como lesiones fonotraumáticas, neoplasia glótica y parálisis cordal, de acuerdo con las características demográficas y sintomáticas<sup>29,30</sup>.

**Tabla 1. Resumen de las aplicaciones de la IA para rinología y medicina del sueño**

Estudio	Año de publicación	Aporte	Datos	Tipo de examen	Algoritmo de IA	P	S	E
Huang y cols. <sup>18</sup>	2019	Identificación de arteria etmoidal anterior	197 imágenes	TC	Red neuronal convolucional	82,7%	-	-
Chowdhury y cols. <sup>19</sup>	2018	Clasificación de la oclusión del complejo osteomeatal	956 imágenes	TC	Red neuronal convolucional	85%	-	-
Wu y cols. <sup>20</sup>	2019	Dg de pólipos nasales	179 imágenes	Biopsia	Red neuronal convolucional	-	-	-
Kim y cols. <sup>21</sup>	2020	Predicción de resultados quirúrgicos en rinosinusitis crónica refractaria con pólipos nasales	Variables clínicas, inmunofluorescencia e imagenológicas	Biopsia TC	Árbol de decisión Bosque aleatorio	-	-	80.04%
Dimauro y cols. <sup>22</sup>	2018	Clasificación automática de células obtenidas de citología nasal	1,006 imágenes	Citología nasal	Red neuronal convolucional	> 96%	> 99%	> 99%
Kim y cols. <sup>23</sup>	2018	Identificación de biomarcadores acústicos en trastornos respiratorios del sueño	Sonidos respiratorios de 120 sujetos	Polisomnografía de noche completa	Red neuronal artificial profunda	88,3%	> 90%	> 90%
Bsoul y cols. <sup>24</sup>	2011	Identificación de episodios de apnea-hipopnea	35 sujetos	ECG de 1 derivada conectado a un smartphone	Algoritmo automático basado en wavelets	-	96%	-
Sannino y cols. <sup>25</sup>	2014	Identificación de episodios de apnea-hipopnea	35 sujetos	Cinturón que integra la información de un ECG de una derivada, la temperatura corporal y el patrón respiratorio	Evolución diferencial	85,7%	65,8%	66%

Abreviaturas: [-]: Significa que no fue reportado en el estudio; [P]: Precisión diagnóstica; [S]: Sensibilidad diagnóstica; [E]: Especificidad diagnóstica; [Dg]: Diagnóstico; [TC]: Tomografía computada; [ECG]: Electrocardiograma.

Otra de las aplicaciones de la IA en laringología es el análisis computacional de imágenes de cuerdas vocales para identificar y distinguir entre normales y aquellas con lesiones. En Dunham y cols.<sup>31</sup> clasificaron, a partir de una serie de imágenes de cuerdas vocales, aquellas benignas y malignas-premalignas. La categoría benigna incluyó imágenes de cuerdas vocales normales y con presencia de nódulos, papiloma, pólipos y membranas laríngeas. Mientras que la categoría maligna-premaligna incluyó muestras de carcinoma y leucoplasia laríngea. También se ha diseñado una herramienta de IA que permite la caracterización y evaluación automática de patrones vasculares en imágenes de laringe con endoscopia de contacto, combinada con un método de mejora óptica de imagen de banda estrecha, mostró una alta precisión en el diagnóstico de lesiones benignas y malignas de laringe<sup>32</sup>. Finalmente, existen aplicaciones en el reconocimiento y segmentación de lesiones no cancerígenas, en específico, las lesiones producidas por la intubación como las ulceraciones y granulomas, para ello se realizaron laringoscopias transnasal, flexible y de chip distal<sup>33</sup> (Tabla 2).

## Oncología de cuello y cabeza

En cirugía de cabeza y cuello se observa un gran avance en la innovación diagnóstica y terapéutica oncológica, mejorando los alcances pronósticos y métodos predictivos. Por ejemplo, se evalúa la capacidad de predicción de complicaciones en pacientes sometidos a transferencia de tejido libre microvascular de cabeza y cuello, utilizando modelos de aprendizaje automático frente a los modelos de regresión lineal tradicionales, alcanzando una precisión de 65% a 70% para predecir complicaciones<sup>34</sup>. Otro ejemplo es la comparación del rendimiento de cuatro algoritmos de aprendizaje automático para predecir el riesgo de recurrencias locoregionales en pacientes con carcinoma oral de células escamosas de la lengua en etapa temprana, en este estudio se mostró que el algoritmo de árbol de decisión impulsado alcanzaba la mejor precisión<sup>35</sup>. También se ha aplicado IA en el análisis de textura asistida para diferenciar los ganglios linfáticos anormales de los normales; se en-

trenaron modelos de aprendizaje automático utilizando conjuntos de datos de imágenes monocromáticas virtuales en TC de energía dual. Se alcanzaron valores de precisión, sensibilidad, especificidad, valor predictivo positivo y valor predictivo negativo de 92%, 91%, 93%, 95%, 87% respectivamente<sup>36</sup>. En otra aplicación, se desarrollaron y validaron algoritmos para la predicción de metástasis ganglionares en pacientes con carcinoma de células escamosas de la cavidad oral, utilizaron un conjunto de datos oncológicos integrales<sup>37</sup>. Se utilizó una red neuronal convolucional para clasificar microfotografías de frotis de citología de tiroides por aspiración con aguja fina en dos categorías. Para detectar carcinoma papilar del tiroides, la red obtuvo una sensibilidad de 90,48%, especificidad de 83,33% y valor predictivo negativo de 96,49%<sup>38</sup>.

Por otro lado, se han combinado con éxito técnicas de procesamiento de imagen de endoscopia con luz blanca estándar e imagen de banda estrecha multiespectral con técnicas básicas de aprendizaje automático, como un medio cuantitativo para identificar carcinoma orofaríngeo<sup>39</sup>. También se ha utilizado aprendizaje automático con imágenes de endomicroscopia láser confocal para el diagnóstico del carcinoma oral de células escamosas<sup>40</sup>. Las aplicaciones de la IA en esta subespecialidad, también incluye el desarrollo de clasificadores automáticos de biopsias de cabeza y cuello, utilizando redes neuronales convolucionales para diferenciar tejido normal de canceroso. En este trabajo se empleó, en el entrenamiento, una base de datos de imágenes hiperespectrales de muestras de tejidos<sup>41</sup> (Tabla 3).

## Otoneurología y otología

El estudio de trastornos auditivos y vestibulares es un desafío para afrontar dada la inaccesibilidad al oído interno para un análisis del paciente, así como el origen multifactorial de diversos trastornos. Kamogashira y cols.<sup>42</sup> presentó una evaluación de diferentes algoritmos de aprendizaje automático (árbol de decisión de aumento de gradiente y clasificador *bagging*) en la predicción de disfunción vestibular a partir de datos de posturografía obtenidos de pacientes con mareo, mostrando mejores

Tabla 2. Resumen de las aplicaciones de la IA para laringología								
Estudio	Año de publicación	Aporte	Datos	Tipo de examen	Algoritmo de IA	Es		
Ren y cols. <sup>26</sup>	2020	Dg cáncer de laringe	24.667 imágenes de laringoscopia	Nasofibrolaringoscopia flexible	Red neuronal convolucional	96,2% > 90%	> 90%	
Xiong y cols. <sup>27</sup>	2019	Dg cáncer de laringe	13.721 imágenes laringoscópicas	Nasofibrolaringoscopia flexible	Red neuronal convolucional	86,7%	73,1%	92,2%
Fang y cols. <sup>28</sup>	2018	Diferenciación entre muestras de voz normales y patológicas	60 muestras de voz normal y 402 muestras de voz patológica	Muestras de voz	Red neuronal profunda	> 90,5%	-	-
Tsui y cols. <sup>29</sup>	2018	Identificación de características demográficas y sintomáticas en vanas patológicas de cuerdas vocales	Base de datos electrónica de pacientes disfónicos	-	Árbol de decisiones Análisis discriminatorio lineal K vecinos más cercanos Máquina de vectores de soporte Red neuronal artificial	83 ± 1,58%	-	-
Kim y cols. <sup>30</sup>	2020	Dg de lesiones en trastornos de voz	Audio	-	Máquina de vectores de soporte Red neuronal artificial Red neuronal convolucional	85%	78%	93%
Dunham y cols. <sup>31</sup>	2020	Identificación de cuerdas vocales benignas y malignas-premalignas	15.971 imágenes	Endoscopia de vía aérea	Red neuronal convolucional	93%	93%	-
Esmailini y cols. <sup>32</sup>	2019	Dg endoscópico de patología laríngea	1.485 imágenes endoscópicas	Endoscopia de contacto	Máquina de vectores de soporte K vecinos más cercanos Bosque aleatorio	> 90%	> 96%	> 96%
Parker y cols. <sup>33</sup>	2020	Identificación de lesiones por entubación	127 imágenes	Nasofibrolaringoscopia flexible	Red neuronal convolucional	-	> 62,8%	> 99%

Abreviaturas: [-]: Significa que no fue reportado en el estudio; [P]: Precisión diagnóstica; [S]: Sensibilidad diagnóstica; [E]: Especificidad diagnóstica; [Dg]: Diagnóstico.

Estudio	Año de publicación	Aporte	Datos	Tipo de examen	Algoritmo de IA	P	S	E
Formeister y cols. <sup>34</sup>	2020	Predicir complicaciones de transferencias microvasculares	Características clínico-patológicas (364 casos).	-	Árboles de decisión potenciados por degradados	65% a 75%	-	-
Alabi y cols. <sup>35</sup>	2020	Predicir el riesgo de ocurrencia locorregional en la lengua por carcinoma de células escamosas	Características clínico-patológicas (311 casos).	-	Vector de soporte Máquina Bayes ingenuo Árbol de decisión mejorado Bosque de decisiones	68%	-	71%
Seidler y cols. <sup>36</sup>	2019	Identificación y caracterización de las adenopatías en el cuello	Imagenológicos (imagen) 412 nodos de 50 pacientes.	TC y DECT	Bosques al azar Máquina de aumento de gradiente	80 a 95%.	91%	93%
Bur y cols. <sup>37</sup>	2019	Predicir la metástasis ganglionar oculta de cáncer oral en ganglios clínicamente negativos	Características clínico-patológicas (782 casos).	-	Bosque de decisiones	-	-	-
Mukherjee y cols. <sup>38</sup>	2018	Pronóstico y dg en cáncer de tiroides	Citopatológicos (174 microfotografías)	PAAF Biopsia	Red neuronal artificial	85,06%	90,48%	83,33%
Mascharak y cols. <sup>39</sup>	2018	Detección cuantitativa automatizada de carcinoma de orofaringe	Citopatológicos (Imágenes multiespectrales de banda estrecha)	Endoscopia	SpotFixer.m, MATLAB (MathWorks) Aprendizaje automático	52,3%	44,8%	59,9%
Aubreville y cols. <sup>40</sup>	2017	Detección del cáncer oral	Citopatológicos (imagen)	Biopsia	Procesamiento de red convolucional basado en parches. Redes neuronales convolucionales	88,3%	86,6%	90,0%
Halicek y cols. <sup>41</sup>	2017	Etiquetado automático de cáncer y tejido normal	Citopatológicos (7894 imágenes)	-	Vector de apoyo Máquinas k-vecino más cercano	80%	81%	78%

Abreviaturas: [-]: Significa que no fue reportado en el estudio; [P]: Precisión diagnóstica; [S]: Sensibilidad diagnóstica; [E]: Especificidad diagnóstica; [Dg]: Diagnóstico; [TC]: Tomografía computada; [DECT]: Tomografía computada de doble energía; [PAAF]: Punción aspirativa con aguja fina.



resultados en comparación a algoritmos de regresión tradicionales. Los modelos de aprendizaje profundo también han sido utilizados para identificar movimientos oculares tridimensionales y confirmar el canal semicircular involucrado en vértigo posicional paroxístico benigno, a partir de un conjunto de videoclips de pacientes con síntomas de vértigo<sup>43</sup>. Otro estudio utilizó datos de las mediciones de un sensor de marcha inalámbrico portátil de bajo costo, para diferenciar pacientes con hipofunción vestibular de sujetos normales; para ello se entrenó un modelo de red neuronal artificial que alcanzó una precisión de 93,8%, una sensibilidad del 100% y una especificidad del 92,3%<sup>44</sup>.

En audiología, se han propuesto modelos basados en aprendizaje automático para predecir regiones cocleares muertas en pacientes con pérdida auditiva debido a diversas enfermedades, mediante la prueba de ruido de equalización de umbral<sup>45</sup>. En Kim y cols.<sup>46</sup> se propuso un modelo de predicción para una evaluación de resultados posimplante coclear en adultos, combinando variables preoperatorias comunes con modelos de regresión multivariada.

En otología, también se observan aplicaciones sobre tecnologías diagnósticas. Por ejemplo, se capacitaron dos redes neuronales artificiales para el diagnóstico de otitis media crónica en cortes secuenciales de TC en hueso temporal, comparando su rendimiento con el de expertos clínicos (la sensibilidad y especificidad de los modelos fueron superiores al de los expertos)<sup>47</sup>. Por otro lado, el trabajo presentado en Livingstone y cols.<sup>48</sup>, utilizó algoritmos de visión por computador para crear un modelo capaz de apoyar el diagnóstico de tres condiciones de oído: tubo de timpanostomía, impactación de cerumen y tímpano normal logrando una precisión general de 84,4%. También se han generado modelos de aprendizaje automático para el diagnóstico de otitis media. En Cha y cols.<sup>49</sup> utilizaron una base de datos de imágenes otoendoscópicas y alcanzaron altos valores de precisión diagnóstica (91,4%), superando al otorrinolaringólogo para ciertos diagnósticos como la otitis media aguda y otitis media con efusión pediátrica. Otro estudio utilizó imágenes otoscópicas y algoritmos de aprendizaje automático para proponer un sistema de asistencia que apoya el diagnóstico

otológico en cuatro de las condiciones de oído medio y externo más frecuentes: tapón de cera, otitis media crónica, miringoesclerosis y oído normal, la precisión general alcanzada fue del 94,3%<sup>50</sup> (Tabla 4).

## IA en Chile

En Chile la aplicación de la IA en el área de la salud está en pleno desarrollo. Se ha planteado la necesidad de darle un impulso a la IA en distintas áreas, a través de varios proyectos, entre los que destacan el Proceso de Modernización del Estado, Agenda Digital 2020 y la Política Nacional de Ciberseguridad<sup>51</sup>.

Con el objetivo de dar una directriz a este desarrollo la Comisión de Desafíos del Futuro, Ciencia, Tecnología e Innovación publicó el documento IA para Chile: La urgencia de desarrollar una estrategia, en el cual expone puntos como la realidad nacional en el tema, la necesidad de avanzar a la par con otros países que poseen experiencia en el área, además de plantear que se debe buscar un marco ético y sustentable a ser usado en los siguientes 20 años, cuyo foco sea la investigación (I), el desarrollo (D), la innovación (i) y su impacto en la sociedad (S), es decir, establecer una estrategia de I + D + i + S para nuestro país<sup>52</sup>.

También en el ámbito público, el Centro Radiológico Copiapó desarrolló un sistema que permite detectar alteraciones sugerentes de COVID-19 y de otras enfermedades respiratorias, a través de la IA, la cual, al analizar la radiografía de tórax del paciente, determina la probabilidad de tener cierta patología<sup>53</sup>. Además, en 2018 se lanzó DART, un *software* que a través de IA permite pesquisar anomalías visuales en pacientes diabéticos<sup>54</sup>. La IA también ha contribuido en la prescripción de fármacos en un área tan compleja como la pediatría<sup>55</sup>, en donde se consideran múltiples factores como la edad del paciente, comorbilidades, la ausencia de presentaciones pediátricas disponibles, entre otros.

Desde el sector privado también han surgido propuestas desde el punto de vista de la digitalización de la medicina. Anastasia, es una empresa chileno-mexicana que ha avanzado en la integración de información desde hospitales, fichas clínicas, laboratorios y dispositivos

Tabla 4. Resumen de las aplicaciones de la IA para otoneurología y otología.

Estudio	Año de publicación	Aporte	Datos	Tipo de examen	Algoritmo de IA	P	S	E
Kamogashira y cols. <sup>42</sup>	2020	Predicción de disfunción vestibular periférica	Oscilación del centro de presión	Posturografía	Árbol de decisión de aumento de gradiente, clasificador <i>bagging</i> y regresión logística	-	89%	-
Lim y cols. <sup>43</sup>	2019	Dg de vértigo posicional paroxístico benigno	Videos de nistagmo de 3.467 pacientes	-	Red neuronal convolucional	-	> 80%	> 80%
Nguyen y cols. <sup>44</sup>	2019	Diferenciación entre pacientes con hipofunción vestibular y sujetos normales	Mediciones de sensor de marcha portátil inalámbrico	-	Red neuronal artificial profunda	93,8%	100%	92,3%
Chang y cols. <sup>45</sup>	2019	Predicción de regiones cocleares muertas en pacientes con pérdida auditiva	Historia clínica y umbrales de tonos puros	Ruido de ecuación de umbral	Árboles de decisión recursivos	> 80%	> 30%	-
Kim y cols. <sup>46</sup>	2018	Evaluación de resultados posimplante coclear en adultos	Variables preoperatorias comunes	-	Modelos de regresión multivariada	> 90%	-	-
Wang y cols. <sup>47</sup>	2019	Dg de otitis media crónica	Coites secuenciales de TC	TC	Redes neuronales convolucionales	76,2%	83,3%	91,4%
Livingstone y cols. <sup>48</sup>	2019	Dg de oído: tubo de timpanostomía, impactación de cerumen y tímpano normal	734 imágenes	Otoscopia	Redes neuronales convolucionales	84,4%	-	-
Cha y cols. <sup>49</sup>	2019	Dg de oído: perforación timpánica, retracción del ático, miringitis, otitis media con efusión, impactación de cerumen y tímpano normal	10.544 imágenes	Oto-endoscopia	Redes neuronales convolucionales	91,4%	> 80%	> 90%
Viscaino y cols. <sup>50</sup>	2020	Dg de oído medio y externo: tapón de cera, otitis media crónica, miringoesclerosis y tímpano normal	880 imágenes	Otoscopia	Máquina de vectores de soporte, k-vecinos más cercanos y árbol de decisión	93,9%	87,8%	95,9%

Abreviaturas: [-]: Significa que no fue reportado en el estudio; [P]: Precisión diagnóstica; [S]: Sensibilidad diagnóstica; [E]: Especificidad diagnóstica; [Dg]: Diagnóstico; [TC]: Tomografía computada.

*wearables*, como los *smartwatches*, que permiten aumentar la eficiencia en la obtención de datos de los pacientes. En este sentido tienen tres aportes concretos a la salud digital chilena: 1) equipos Omnicell de Tecnigen, que son estantes automáticos que aceleran la cadena de suministro y abastecimiento de productos, por medio del uso de algoritmos que planifican la demanda y evitan el quiebre del *stock*; 2) algoritmos basados en IA que entregan recomendaciones y predicciones de riesgos a partir de los datos obtenidos; 3) las cadenas de farmacia tienen un sistema que asocia la información de las compras de los clientes con recomendaciones de productos relacionados<sup>56</sup>.

Respecto a la especialidad médica de ORL, en nuestro país todavía no hay aplicaciones directas de la IA que estén siendo utilizadas en la práctica clínica, sin embargo, se encuentran en desarrollo sistemas de asistencia para el examen de otoscopia para enfermedades del oído medio y externo que se basan en los últimos estudios realizados en nuestro país. En este sentido, grupos de investigación multidisciplinaria, como el conformado por investigadores de la Universidad de Chile y la Universidad Técnica Santa María han propuesto sistemas basados en IA para la asistencia diagnóstica en otoscopia con alta precisión (92%), sensibilidad (90%) y especificidad (98%). Este trabajo incluyó un estudio clínico con más de 850 pacientes y fue desarrollado en conjunto con especialistas del Servicio de Otorrinolaringología del Hospital Clínico de la Universidad de Chile. El sistema propuesto tiene la capacidad de asistir en el diagnóstico de nueve condiciones de oído tanto interno, como externo: oído normal, otitis media crónica, otitis media con efusión, retracción timpánica de la membrana, miringoesclerosis, membrana monomérica o dimérica, exostosis del conducto, otitis externa y tapón de cerumen<sup>50</sup>.

### Desafíos a futuro

- Para implementar los algoritmos de IA en la práctica clínica, éstos deben superar las limitaciones en los tiempos de ejecución, con el objetivo de asistir al profesional de la salud en tiempo real sin aumentar los tiempos de consulta y procurando disminuir su carga de trabajo.

- Como se ha revisado, existen varios estudios que proponen aplicaciones de la IA en diferentes ramas de la ORL. Sin embargo, muchos sufren de problemas de generalización o se encuentran sesgados a la selección de datos, por lo que se debe considerar en la metodología incrementar la variabilidad de casos al realizar estudios multicéntricos o realizar el proceso de adquisición de datos con múltiples dispositivos que estén disponibles comercialmente.
- Desde el punto de vista médico, la aplicación de la IA, pese a ser una gran herramienta que complementa el trabajo médico, presenta dificultades al ser aplicada al día a día en la práctica, esto debido principalmente a la falta de recursos en los distintos servicios asistenciales, sumado a la falta de personal con formación suficiente capaz de manejar y aplicar dicha tecnología.

Como país tenemos pendiente la implementación de una red de información única que permita unificar las fichas clínicas de la totalidad, o la mayor parte del territorio, que facilite el paso de información entre los distintos niveles de complejidad y permita acceder a información clínica básica en situaciones de emergencia, sin importar la región de procedencia del paciente. Lo que implicaría, en el corto plazo, un beneficio tanto para el paciente como para el investigador.

Si bien la pandemia de COVID-19 ha potenciado la atención en salud a distancia, todavía faltan los pilares necesarios, clínicos y legales, para que este modo de trabajar tenga raíces fuertes. La extensión actual de la telemedicina sienta un austero precedente para la implantación paulatina de la IA en nuestras prácticas asistenciales, promoviendo cada vez más la modernización del sistema de salud.

Finalmente, desde el punto de vista de la investigación a estas dificultades, se agrega la problemática ética que genera el uso de datos confidenciales y cómo se ve limitado según el consentimiento del o la paciente. Resulta incierto la digitalización sistemática de la información, ya que conlleva nuevas problemáticas que es necesario tener en mente, como la seguridad de los datos, capacitación de los funcionarios y alcance a la población de estos nuevos servicios tecnológicos.

## Conclusión

Los impulsos actuales de la IA son ampliamente transversales y multidisciplinarios. En nuestra área, permite agilizar ciertos aspectos de la atención médico-paciente, optimización diagnóstica, mejorar la eficacia de la terapéutica y la eficiencia en la gestión de recursos. Al mismo tiempo, creemos que esto conlleva nuevos desafíos e interrogantes desde la perspectiva ética y humana, que obliga a tomar nuevas responsabilidades en nuestro rol profesional y con nuestros pacientes.

## Bibliografía

- Hewlett Packard Enterprise Latinoamérica. ¿Qué es la inteligencia artificial? Disponible en: <https://www.hpe.com/lamerica/es/what-is/artificial-intelligence.html>. Consultado el 24 de julio de 2020.
- Campbell M, Hoane AJ, Hsu F. Deep Blue. *Artificial Intelligence*. 2002;134: 57-83. doi: 10.1016/S0004-3702(01)00129-1.
- Hölldobler S, Möhle S, Tiginova A. Lessons Learned from AlphaGo. CEUR Workshop Proceeding. Disponible en: <http://ceur-ws.org/Vol-1837/paper14.pdf>. Consultado el 24 de julio de 2020.
- La Nación. Inteligencia Artificial: De Kasparov a Sedol, dos maneras de enfrentar la derrota ante las máquinas. La Nación Argentina. Disponible en: <https://www.lanacion.com.ar/tecnologia/inteligencia-artificial-kasparov-sedol-dos-maneras-enfrentar-nid2338050>. Consultado el 24 de julio de 2020.
- Sloman A. Artificial intelligence: An Illustrative Overview. Apuntes Ingeniería en Informática, Escuela de Ciencias Computacionales. Disponible en: [http://quegrande.org/apuntes/EI/4/IA/teoria/09-10/areas\\_de\\_aplicacion\\_de\\_la\\_inteligencia\\_artificial\\_recomendada.pdf](http://quegrande.org/apuntes/EI/4/IA/teoria/09-10/areas_de_aplicacion_de_la_inteligencia_artificial_recomendada.pdf). Consultado el 24 de julio de 2020.
- Buch VH, Ahmed I, Maruthappu M. Artificial intelligence in medicine: current trends and future possibilities. *Br J Gen Pract*. 2018;68(668):143-144. doi: 10.3399/bjgp18X695213.
- Mintz Y, Brodie R. Introduction to artificial intelligence in medicine. *Minim Invasive Therapy Allied Technol*. 2019;28(2):73-81. doi: 10.1080/13645706.2019.1575882.
- Alsuliman T, Humaidan D, Sliman L. Machine learning and artificial intelligence in the service of medicine: Necessity or potentiality? *Curr Res Transl Med*. 2020;68(4):245-251. doi: 10.1016/j.retram.2020.01.002.
- Schootman M, Hendren S, Ratnapradipa K, Stringer L, Davidson NO. Adoption of Robotic Technology for Treating Colorectal Cancer. *Dis Colon Rectum*. 2016;59(11):1011-1018. doi: 10.1097/DCR.0000000000000688.
- IBM. IBM Watson learn how to operationalize AI in your business. Disponible en: <https://www.ibm.com/watson>. Consultado el 25 de julio de 2020
- Yao S, Wang R, Qian K, Zhang Y. Real world study for the concordance between IBM Watson for Oncology and clinical practice in advanced non-small cell lung cancer patients at a lung cancer center in China. *Thorac Cancer*. 2020;11(5):1265-1270. doi: 10.1111/1759-7714.13391.
- Qi Q, Li Y, Wang J, Zheng H, Huang Y, Ding X, Rohde GK. Label-Efficient Breast Cancer Histopathological Image Classification. *IEEE J Biomed Health Inform*. 2019;23(5):2108-2116. doi: 10.1109/JBHI.2018.2885134.
- Zheng S, Guo J, Cui X, Veldhuis RNJ, Oudkerk M, van Ooijen PMA. Automatic Pulmonary Nodule Detection in CT Scans Using Convolutional Neural Networks Based on Maximum Intensity Projection. *IEEE Trans Med Imaging*. 2020;39(3):797-805. doi: 10.1109/TMI.2019.2935553.
- Brinker TJ, Hekler A, Utikal JS, Grabe N, Schadendorf D, Klode J, Berking C, Steeb T, Enk AH, von Kalle C. Skin Cancer Classification Using Convolutional Neural Networks: Systematic Review. *J Med Internet Res*. 2018;20(10):e11936. doi: 10.2196/11936.
- Buch V, Ahmed I, Maruthappu M. Artificial intelligence in medicine: current trends and future possibilities. *British Journal of General Practice*. 2018;68(668):143-144. doi: 10.3399/bjgp18X695213.
- Viscaíno, M., & Cheein, F. A. Machine learning for computer-aided polyp detection using wavelets and content-based image. 2019. 41st Annual International Conference of the IEEE Engineering in Medicine and Biology Society (EMBC) (pp. 961-965). IEEE. doi: 10.1109/EMBC.2019.8857831.
- US Food and Drug Administration. FDA permits marketing of artificial intelligence-based devices to detect certain diabetes-related eye problems. FDA News Release. 2018. Disponible en <https://www.fda.gov/news-events/press-announcements/fda-permits-marketing-artificial-intelligence-based-device-detect-certain-diabetes-related-eye>. Consultado el 3 de septiembre de 2021.
- Huang J, Habib AR, Mendis D, Chong J, Smith M, Duvnjak M, Chiu C, Singh N, Wong E. An artificial intelligence algorithm that differentiates anterior ethmoidal artery location on sinus computed tomography scans. *J Laryngol Otol*. 2020;134(1):52-55. doi: 10.1017/S0022215119002536.
- Chowdhury NI, Smith TL, Chandra RK, Turner JH. Automated classification of osteomeatal complex inflammation on computed tomography using convolutional neural networks. *Int Forum Allergy*

## ARTÍCULO DE REVISIÓN

- Rhinol.* 2019;9(1):46-52. doi: 10.1002/alr.22196.
20. Wu Q, Chen J, Deng H, Ren Y, Sun Y, Wang W, Yuan L, Hong H, Zheng R, Kong W, Huang X, Huang G, Wang L, Zhang Y, Han L, Yang Q. Expert-level diagnosis of nasal polyps using deep learning on whole-slide imaging. *J Allergy Clin Immunol.* 2020;145(2):698-701.e6. doi: 10.1016/j.jaci.2019.12.002.
  21. Kim DK, Lim HS, Eun KM, Seo Y, Kim JK, Kim YS, Kim MK, Jin S, Han SC, Kim DW. Subepithelial neutrophil infiltration as a predictor of the surgical outcome of chronic rhinosinusitis with nasal polyps. *Rhinology.* 2021;59(2):173-180. doi: 10.4193/Rhin20.373.
  22. Dimauro G, Ciprandi G, Deperte F, Girardi F, Ladisa E, Latrofa S, Gelardi M. Nasal cytology with deep learning techniques. *Int J Med Inform.* 2019;122:13-19. doi: 10.1016/j.ijmedinf.2018.11.010.
  23. Kim T, Kim JW, Lee K. Detection of sleep disordered breathing severity using acoustic biomarker and machine learning techniques. *Biomed Eng Online.* 2018;17(1):16. doi: 10.1186/s12938-018-0448-x.
  24. Bsoul M, Minn H, Tamil L. Apnea MedAssist: real-time sleep apnea monitor using single-lead ECG. *IEEE Trans Inf Technol Biomed.* 2011;15(3):416-427. doi: 10.1109/TITB.2010.2087386.
  25. Sannino G, De Falco I, De Pietro G. Monitoring Obstructive Sleep Apnea by means of a real-time mobile system based on the automatic extraction of sets of rules through Differential Evolution. *J Biomed Inform.* 2014;49:84-100. doi: 10.1016/j.jbi.2014.02.015.
  26. Ren J, Jing X, Wang J, et al. Automatic Recognition of Laryngoscopic Images Using a Deep-Learning Technique. *Laryngoscope.* 2020;130(11):E686-E693. doi: 10.1002/lary.28539.
  27. Xiong H, Lin P, Yu JG, et al. Computer-aided diagnosis of laryngeal cancer via deep learning based on laryngoscopic images. *EBioMedicine.* 2019;48:92-99. doi: 10.1016/j.ebiom.2019.08.075.
  28. Fang SH, Tsao Y, Hsiao MJ, et al. Detection of Pathological Voice Using Cepstrum Vectors: A Deep Learning Approach. *J Voice.* 2019;33(5):634-641. doi: 10.1016/j.jvoice.2018.02.003.
  29. Tsui SY, Tsao Y, Lin CW, Fang SH, Lin FC, Wang CT. Demographic and Symptomatic Features of Voice Disorders and Their Potential Application in Classification Using Machine Learning Algorithms. *Folia Phoniatr Logop.* 2018;70(3-4):174-182. doi: 10.1159/000492327.
  30. Kim H, Jeon J, Han YJ, et al. Convolutional Neural Network Classifies Pathological Voice Change in Laryngeal Cancer with High Accuracy. *J Clin Med.* 2020;9(11):3415. doi: 10.3390/jcm9113415.
  31. Dunham ME, Kong KA, McWhorter AJ, Adkins LK. Optical Biopsy: Automated Classification of Airway Endoscopic Findings Using a Convolutional Neural Network. *Laryngoscope.* 2022;132 Suppl 4:S1-S8. doi: 10.1002/lary.28708.
  32. Esmaili N, Illanes A, Boese A, Davaris N, Arens C, Friebe M. Novel automated vessel pattern characterization of larynx contact endoscopic video images. *Int J Comput Assist Radiol Surg.* 2019;14(10):1751-1761. doi: 10.1007/s11548-019-02034-9.
  33. Parker F, Brodsky MB, Akst LM, Ali H. Machine Learning in Laryngoscopy Analysis: A Proof of Concept Observational Study for the Identification of Post-Extubation Ulcerations and Granulomas. *Ann Otol Rhinol Laryngol.* 2021;130(3):286-291. doi: 10.1177/0003489420950364.
  34. Formeister EJ, Baum R, Knott PD, et al. Machine Learning for Predicting Complications in Head and Neck Microvascular Free Tissue Transfer. *Laryngoscope.* 2020;130(12):E843-E849. doi: 10.1002/lary.28508.
  35. Alabi RO, Elmusrati M, Sawazaki-Calone I, et al. Comparison of supervised machine learning classification techniques in prediction of locoregional recurrences in early oral tongue cancer. *Int J Med Inform.* 2020;136:104068. doi: 10.1016/j.ijmedinf.2019.104068.
  36. Seidler M, Forghani B, Reinhold C, et al. Dual-Energy CT Texture Analysis With Machine Learning for the Evaluation and Characterization of Cervical Lymphadenopathy. *Comput Struct Biotechnol J.* 2019;17:1009-1015. Published 2019 Jul 16. doi: 10.1016/j.csbj.2019.07.004.
  37. Bur A, Holcomb A, Goodwin S, Woodroof J, Karadaghy O, Shnyder Y, Kakarala K, Brant J, Shew M. Machine learning to predict occult nodal metastasis in early oral squamous cell carcinoma. *Oral Oncology.* 2019; 92:20-25. doi: 10.1016/j.oraloncology.2019.03.011.
  38. Sanyal P, Mukherjee T, Barui S, Das A, Gangopadhyay P. Artificial Intelligence in Cytopathology: A Neural Network to Identify Papillary Carcinoma on Thyroid Fine-Needle Aspiration Cytology Smears. *J Pathol Inform.* 2018;9:43. doi: 10.4103/jpi.jpi\_43\_18.
  39. Mascharak S, Baird BJ, Holsinger FC. Detecting oropharyngeal carcinoma using multispectral, narrow-band imaging and machine learning. *Laryngoscope.* 2018;128(11):2514-2520. doi: 10.1002/lary.27159.
  40. Aubreville M, Knipfer C, Oetter N, et al. Automatic Classification of Cancerous Tissue in Laserendoscopic Images of the Oral Cavity using Deep Learning. *Sci Rep.* 2017;7(1):11979. doi: 10.1038/s41598-017-12320-8.
  41. Halicek M, Lu G, Little JV, et al. Deep convolutional neural networks for classifying head and neck cancer using hyperspectral imaging. *J Biomed Opt.* 2017;22(6):60503. doi: 10.1117/1.JBO.22.6.060503.

42. Kamogashira T, Fujimoto C, Kinoshita M, Kikkawa Y, Yamasoba T, Iwasaki S. Prediction of Vestibular Dysfunction by Applying Machine Learning Algorithms to Postural Instability. *Front Neurol.* 2020;11:7. Published 2020 Feb 5. doi: 10.3389/fneur.2020.00007.
43. Lim EC, Park JH, Jeon HJ, et al. Developing a Diagnostic Decision Support System for Benign Paroxysmal Positional Vertigo Using a Deep-Learning Model. *J Clin Med.* 2019;8(5):633. doi: 10.3390/jcm8050633.
44. Nguyen T, Young J, Rodriguez A, Zupancic S, Lie D. Differentiation of Patients with Balance Insufficiency (Vestibular Hypofunction) versus Normal Subjects Using a Low-Cost Small Wireless Wearable Gait Sensor. *Biosensors.* 2019;9(1):29. doi: 10.3390/bios9010029.
45. Chang YS, Park H, Hong SH, Chung WH, Cho YS, Moon IJ. Predicting cochlear dead regions in patients with hearing loss through a machine learning-based approach: A preliminary study. *PLoS One.* 2019;14(6):e0217790. doi: 10.1371/journal.pone.0217790.
46. Kim H, Kang WS, Park HJ, et al. Cochlear Implantation in Postlingually Deaf Adults is Time-sensitive Towards Positive Outcome: Prediction using Advanced Machine Learning Techniques. *Sci Rep.* 2018;8(1):18004. Published 2018 Dec 20. doi: 10.1038/s41598-018-36404-1.
47. Wang YM, Li Y, Cheng YS, et al. Deep Learning in Automated Region Proposal and Diagnosis of Chronic Otitis Media Based on Computed Tomography. *Ear Hear.* 2020;41(3):669-677. doi: 10.1097/AUD.0000000000000794.
48. Livingstone D, Talai AS, Chau J, Forkert ND. Building an Otoscopic screening prototype tool using deep learning. *J Otolaryngol Head Neck Surg.* 2019;48(1):66. doi: 10.1186/s40463-019-0389-9.
49. Cha D, Pae C, Seong SB, Choi JY, Park HJ. Automated diagnosis of ear disease using ensemble deep learning with a big otoendoscopy image database. *EBioMedicine.* 2019;45:606-614. doi: 10.1016/j.ebiom.2019.06.050.
50. Viscaino M, Maass JC, Delano PH, Torrente M, Stott C, Auat Cheein F. Computer-aided diagnosis of external and middle ear conditions: A machine learning approach. *PLoS One.* 2020;15(3):e0229226. doi: 10.1371/journal.pone.0229226.
51. Barrios Achavar V. Política Nacional de Ciberseguridad: 2017-2022. Suplemento:116794, 2017. Disponible en [https://obtienearchivo.bcn.cl/obtienearchivo?id=repositorio/10221/26760/1/POLITICA\\_NACIONAL\\_DE\\_CIBER.pdf](https://obtienearchivo.bcn.cl/obtienearchivo?id=repositorio/10221/26760/1/POLITICA_NACIONAL_DE_CIBER.pdf). Consultado el 3 de septiembre de 2021.
52. Comisión "Desafíos del Futuro, Ciencia, Tecnología e Innovación". Gobierno de Chile. INTELIGENCIA ARTIFICIAL PARA CHILE. LA URGENCIA DE DESARROLLAR UNA ESTRATEGIA. 2019. Disponible en [https://eia.bcn.cl/images/c/c1/Inteligencia\\_Artificial\\_para\\_Chile.pdf](https://eia.bcn.cl/images/c/c1/Inteligencia_Artificial_para_Chile.pdf). Consultado el 3 de septiembre de 2021.
53. Diario Chañarillo. Centro Radiológico Copiapó presenta a la comunidad la nueva tecnología de Análisis de imágenes por inteligencia Artificial para diagnóstico de COVID-19 en Radiografías de Tórax. Diario Chañarillo, 2020. Disponible en: <https://www.chanarillo.cl/centro-radiologico-copiapo-presenta-a-la-comunidad-la-nueva-tecnologia-de-analisis-de-imagenes-por-inteligencia-artificial-para-diagnostico-de-covid-19-en-radiografias-de-torax/>. Consultado el primero de diciembre de 2020.
54. Castro E. ¿Como funciona la inteligencia artificial? IPSUSS, Universidad San Sebastián, 2019. Disponible en: <http://www.ipsuss.cl/ipsuss/columnas-de-opinion/erica-castro/como-funciona-la-inteligencia-artificial-en-la-salud/2019-03-15/172002.html>. Consultado el primero de diciembre de 2020.
55. Ruiz Álvarez J. Diseño e implementación de un sistema de apoyo a la decisión clínica en la prescripción basado en un modelo de clasificación del riesgo farmacológico. Tesis de Magister en ingeniería de Negocios con tecnologías de información. 2018. Disponible en <http://repositorio.uchile.cl/handle/2250/168192>. Consultado el 3 de septiembre de 2021.
56. Información de Mercados. Anastasia: El futuro de la Inteligencia Artificial aplicada a la medicina. 2020. Disponible en: <https://www.informaciondemercados.cl/anastasiamar19/>. Consultado el primero de diciembre de 2020.